UADY
CAMPUS DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y AGROPECUARIAS
"Luz, Ciencia y Verdad"
FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA

Programa Nacional Contra la Sequía

PRONACOSE

ETAPA 2 DE 6:

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

Ciudad de Cancún

Elaborado por:
Universidad Autónoma de Yucatán
Responsable: Dr. Héctor Estrada Medina
Coordinador: M. en E.T. Mariela Castilla Martínez
Colaboradores: P. en Biol. Biiniza Perez Niño
P. en Biol. Mar. Adrian Andrés Morales Guadarrama
P. en Agroec. Oscar Álvarez Rivera

Diciembre 2014

ÍNDICE

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN 1

CAPÍTULO 2. ¿QUÉ ES LA SEQUÍA? 3

2.1 TIPOS DE SEQUÍA 3
2.2 IMPACTOS DE LA SEQUÍA 5
2.3 RANGOS DE INTENSIDAD DE LA SEQUÍA 6
2.4 INDICADORES DE SEQUÍA 8

CAPÍTULO 3. MARCO LEGAL E INSTITUCIONAL 11

3.1 NORMATIVIDAD NACIONAL 11
3.2 NORMATIVIDAD LOCAL 17
3.3 INSTITUCIONES RELACIONADAS CON LA SEQUÍA 22

CAPÍTULO 4. DESCRIPCIÓN DE LA CIUDAD DE CANCÚN 24

4.1 MEDIO FÍSICO 25
4.2 POBLACIÓN 30
4.2.1 Grado de marginación 31
4.2.2 Índice de Desarrollo Humano (IDH) 33
4.3 ACTIVIDADES ECONÓMICAS 34
4.4 CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA AGUA EN CANCÚN 36
4.4.1 Organismo operador del agua 37

CAPÍTULO 5. INFORMACIÓN CLIMÁTICA DE CANCÚN 39

5.1 TEMPERATURA 39
5.1.1 Temperatura media 40
5.1.2 Temperatura máxima 44
..... 47
5.1.3 Temperatura mínima 47
5.2 OSCILACIÓN TÉRMICA 50
5.3 PRECIPITACIÓN 52
5.4 EVAPORACIÓN 57
5.5 SEQUÍA 60
5.5.1 Índice de Precipitación Estandarizado (Standarized Precipitation Index SPI) 60
5.6 Índice de Sequía por Escurrimiento (Streamflow Drought Index SDI) 63
5.6 CARACTERIZACIÓN DEL CLIMA 64

CAPÍTULO 6. EVALUACIÓN DE LA OFERTA/ABASTO DE AGUA 67

6.1 FUENTES DE ABASTO 67
6.2 INVENTARIO Y EVALUACIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA DISPONIBLE 70
6.2.1 Infraestructura de almacenamiento 71
6.2.2 Infraestructura de distribución 73

6.2.3 Infraestructura de drenaje, recolección, tratamiento y reúso de aguas residuales..... 75
6.2.3.1 Drenaje 75
6.2.3.2 Recolección 76
6.2.3.3 Tratamiento y reúso de aguas residuales 76
6.2.3.4 Potabilización 79
6.3 RECURSOS DISPONIBLES (CAUDALES Y VOLÚMENES DE PRODUCCIÓN) 80
6.4 ESTADO DEL SERVICIO DE AGUA POTABLE 83
6.4.1 Calidad del agua 83
6.4.1.1 Continuidad y extensión del servicio 24 horas/7días 86
6.4.1.2 Atención a clientes 87

CAPÍTULO 7. EVALUACIÓN DE LA DEMANDA/CONSUMO DE AGUA 90

7.2 ANÁLISIS DE LA DEMANDA 90
7.2.1 Cobertura 90
7.2.2 Usuarios 90
7.2.3 Consumo per cápita 95
7.2.4 Eficiencia del organismo operador de agua 95
7.2.4.1 Eficiencia física 95
7.2.4.2 Eficiencia comercial 96
7.2.4.3 Eficiencia global 97
7.2.4.4 Productividad 97
7.2.5 Tarifas 99

CAPÍTULO 8. BALANCE DE AGUA Y EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD INSTALADA 101

8.1 CAPACIDAD DE ABASTO Y CAPACIDAD INSTALADA 101
8.2 VARIACIÓN ESTACIONAL DE OFERTA Y DEMANDA 102
8.2.1 Dotación 102

CAPÍTULO 9. ESCENARIOS FUTUROS DE LA PRODUCCIÓN Y CONSUMO 104

9.1 PATRONES DE CONSUMO EN 5, 10 Y 15 AÑOS 104
9.1.1 Escenario tendencial con proyección de la población 105
9.1.2 Escenario tendencial con proyección por tipo de usuarios 106
9.1.3 Escenario optimista con proyección de la población 109
9.1.1 Escenario optimista con proyección por tipo de usuarios 111
9.1.2 Escenario pesimista con proyección de la población 113
9.1.3 Escenario pesimista con proyección por tipo de usuarios 115
9.2 PROSPECCIÓN DE DEMANDA DE AGUA EN LA CIUDAD 117
9.3 RETOS EN EL MANEJO URBANO DEL AGUA 118

CAPÍTULO 10. ANÁLISIS DE MEDIDAS PARA LA GESTIÓN DEL AGUA EN SEQUÍAS 121

10.1 IDENTIFICACIÓN DE DEFICIENCIAS EN LA GESTIÓN 121
10.2 FUENTES ALTERNAS DE ABASTECIMIENTO 122
10.3 PRIORIDADES DE INVERSIÓN PARA LA PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN DE LA SEQUÍA 122
10.4 MEDIDAS PREVENTIVAS Y DE MITIGACIÓN DE SEQUÍA 123

10.5 Análisis para la gestión de la sequía 131
10.5.1 Definición operativa de la sequía 131
10.5.2 Desencadenantes de la declaración de sequía 132
10.5.3 Acciones para enfrentar la escasez de agua 133
10.6 Procedimiento para la elaboración de un plan contingente (a nivel ciudad) para la mitigación de la sequía 136
10.7 Plan contingente de mitigación de la sequía 137
10.8 Zonas de reserva de agua 139
10.9 Planeación del PMPMS de la ciudad de Cancún 142
RECOMENDACIONES PARA LA DIFUSIÓN DEL PMPMS 146
AGRADECIMIENTOS 147
BIBLIOGRAFÍA 148

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1. Contenido de las Normas Oficiales Mexicanas relacionadas con el rubro agua. 13
Tabla 4.1. Población del municipio de Benito Juárez y la ciudad de Cancún.....31
Tabla 4.2. Proyección de población el municipio de Benito Juárez y la ciudad de Cancún al 2030. ...31
Tabla 4.3. Indicadores socioeconómicos y grado de marginación de Cancún. 32
Tabla 4.4. Índice de Desarrollo Humano del municipio de Benito Juárez y de Quintana Roo al 2010. 34
Tabla 4.5. Población Económicamente Activa en el municipio de Benito Juárez y Cancún.....36
Tabla 5.1. Serie temporal de temperatura media mensual para la ciudad de Cancún. 41
Tabla 5.2. Serie temporal de temperatura máxima promedio mensual para la ciudad de Cancún. ...45
Tabla 5.3. Serie temporal de temperatura mínima promedio mensual para la ciudad de Cancún.....48
Tabla 6.1. Fuentes de abastecimiento de agua para la ciudad de Cancún para 2013. 68
Tabla 6.2. Estado de conservación de la red de tuberías de la ciudad de Cancún. 74
Tabla 6.3. Evolución de la cobertura de alcantarillado de la ciudad de Cancún.....76
Tabla 6.4. Plantas de tratamiento de aguas residuales en Cancún al 2012. 78
Tabla 6.5. Capacidad histórica del servicio de tratamiento de aguas residuales de Cancún 2005-2013.....79
Tabla 6.6. Cobertura de macromedición en las fuentes de abastecimiento para Cancún. 80
Tabla 6.7. Caudal producido por zonas para Cancún en 2013. 80
Tabla 6.8. Capacidad instalada de las zonas de captación de la ciudad de Cancún al 2003. 81
Tabla 6.9. Volumen de agua producida y estimación de pérdida en la ciudad de Cancún.....82
Tabla 6.10. Volumen producido mensual de agua para la ciudad de Cancún por tipo de usuario al 2013 (Hm^3).....82
Tabla 6.11. Parámetros de calidad del agua potable en la ciudad de Cancún al 2012. 85
Tabla 6.12. Continuidad en el servicio de agua potable por usuarios en la ciudad de Cancún al 2014. 87
Tabla 7.1. Número de clientes DHC-AGUAKAN.....90
Tabla 7.2. Tomas de agua por tipo de usuario al 2013. 91
Tabla 7.3. Tomas de agua potable con medidor instalado en Cancún al 2013. 92
Tabla 7.4. Facturación mensual promedio de agua potable por tipo de usuario en la ciudad de Cancún (m^3/año).....93
Tabla 7.5. Principales usuarios de agua potable en la ciudad de Cancún Dic. 2013- Nov. 2014. 94
Tabla 7.6. Consumo y dotación per cápita anual para la ciudad de Cancún 2013.....95
Tabla 7.7. Eficiencia física de la empresa DHC-AGUAKAN en Cancún.....96
Tabla 7.8. Eficiencia comercial de la empresa DHC-AGUAKAN en Cancún. 96
Tabla 7.9. Eficiencia global de la empresa DHC-AGUAKAN en Cancún. 97
Tabla 7.10. Número de tomas de agua potable registradas y número de empleados por cada mil tomas en Cancún. 98
Tabla 7.11. Costo unitario de producción y precio de venta promedio en Cancún.....99

Tabla 7.12. Variación porcentual de las tarifas de agua por consumo doméstico de Cancún 2004-2012 (pesos). 100
Tabla 8.1. Capacidad de abasto para la ciudad de Cancún. 101
Tabla 8.2. Volumen producido mensual de agua de la ciudad de Cancún (Hm^3). 102
Tabla 8.3. Dotación de agua (l/hab/día) para la ciudad de Cancún. 103
Tabla 8.4. Dotación de agua (l/hab/día) 2004-2008 en la zona hotelera de Cancún. 103
Tabla 9.1. Proyección del consumo de agua para 2030 con un escenario tendencial con proyección de la población. 105
Tabla 9.2. Tasas de crecimiento del número de usuarios y su consumo (2005-2013). 107
Tabla 9.3. Proyección del consumo de agua para 2030 con un escenario tendencial con proyección del número de usuarios. 108
Tabla 9.4. Proyección del consumo de agua para 2030 con un escenario optimista. 110
Tabla 9.5. Proyección del consumo de agua para 2030 con un escenario optimista con proyección del número de usuarios. 112
Tabla 9.6. Proyección del consumo de agua para 2030 con un escenario pesimista. 114
Tabla 9.7. Proyección del consumo de agua para 2030 con un escenario pesimista con proyección del número de usuarios. 116
Tabla 10.1. Áreas con deficiencias para el organismo operador AGUAKAN. 121
Tabla 10.2. Estrategias de prevención de la sequía en la ciudad de Cancún. 124
Tabla 10.3. Matriz de medidas de prevención y mitigación a la sequía por sector para la ciudad de Cancún. 127

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 4.1. Mapa de la ciudad de Cancún. 24
Figura 4.2. Mapa de temperatura de la ciudad de Cancún. 25
Figura 4.3. Mapa de precipitación de la ciudad de Cancún. 26
Figura 4.4. Mapa edafológico de la ciudad de Cancún. 28
Figura 4.5. Regionalización de las Areas Naturales Protegidas de la ciudad de Cancún. 30
Figura 4.6. Mapa del grado de marginación por zonas en la ciudad de Cancún 33
Figura 5.1. Temperatura media anual histórica de Cancún 1988-2013. 42
Figura 5.2. Temperatura media histórica mensual de Cancún 1988-2013. 43
Figura 5.3. Mapas de la temperatura media mensual de la ciudad de Cancún. 44
Figura 5.4. Temperatura máxima promedio anual de Cancún 1988-2013. 46
Figura 5.5. Temperatura máxima extrema histórica mensual de Cancún 1988-2013. 47
Figura 5.6. Temperatura mínima promedio anual de Cancún 1988-2013. 49
Figura 5.7. Temperatura mínima extrema mensual histórica de Cancún 1988-2013 50
Figura 5.8. Oscilación térmica promedio de Cancún 1988-2013. 51
Figura 5.9. Oscilación térmica mensual histórica de Cancún 1988-2013. 52
Figura 5.10. Precipitación total anual de Cancún 1988-2013. 53
Figura 5.11. Precipitación mensual promedio histórica de Cancún 1988-2013. 54
Figura 5.12. Mapas de la precipitación media mensual para la ciudad de Cancún. 55
Figura 5.13. Días de lluvia al año y precipitación total en Cancún 1988-2013. 56
Figura 5.14. Climograma de la ciudad de Cancún 1988-2013. 57
Figura 5.15. Evaporación total anual de Cancún 1991-2013. 58
Figura 5.16. Evaporación anual de Cancún con valores mínimos y máximos 1991-2013. 59
Figura 5.17. Precipitación y evaporación mensual promedio de Cancún 1991-2013. 60
Figura 5.18. Grado máximo de sequía mensual en Cancún (2008-2014). 62
Figura 5.19. Mapas de sequía meteorológica de acuerdo con el Índice de Precipitación Estandarizado para la ciudad de Cancún (2008-2014). 63
Figura 6.1. Direcciones de flujo del agua subterránea en la Península de Yucatán 67
Figura 6.2. Ubicación de los pozos de extracción de agua en la ciudad de Cancún. 69
Figura 6.3. Ubicación de las plantas de tratamiento de aguas residuales en la ciudad de Cancún. 70
Figura 6.4. Zonas de influencia de la red de conducción de agua potable en la ciudad de Cancún. 72
Figura 6.5. Ubicación de las líneas de conducción y los tanques o cárcamos de rebombeo en la ciudad de Cancún. 73
Figura 6.6. Antigüedad de la tubería de agua potable para el municipio de Benito Juárez 75
Figura 7.1 Tarifas de agua potable y alcantarillado por tipo de usuario para Cancún 100
Figura 9.1. Proyección de la demanda de agua potable anual para Cancún con un escenario tendencial con proyección de la población 106
Figura 9.2. Proyección de la demanda de agua potable anual para Cancún con un escenario tendencial con proyección del número de usuarios. 109

Figura 9.3. Proyección de la demanda de agua potable anual para Cancún con un escenario optimista. 110
Figura 9.4. Proyección de la demanda de agua potable anual para Cancún con un escenario optimista con proyección del número de usuarios. 113
Figura 9.5. Proyección de la demanda de agua potable anual para Cancún con un escenario pesimista. 114
Figura 9.6. Proyección del consumo de agua para 2030 con un escenario pesimista con proyección del número de usuarios. 117
Figura 9.7. Retos en el manejo del agua potable en la ciudad de Cancún. 119
Figura 10.1. Factores que pueden desencadenar un evento de escasez de agua en la ciudad de Cancún. 132
Figura 10.2. Acciones a realizar ante un escenario de escasez de agua en la ciudad de Cancún. 133
Figura 10.3. Medidas de mitigación a seguir ante un escenario de escasez de agua en la ciudad de Cancún. 134
Figura 10.4. Mapa del modelo de ordenamiento ecológico local del municipio de Benito Juárez. 141
Figura 10.5. Áreas de protección del agua en Benito Juárez. 142

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

Como parte de una iniciativa federal contra la sequía sufrida en el norte del país, en el 2013 se estableció el Programa Nacional Contra la Sequía (PRONACOSE) que entre sus objetivos busca prevenir y mitigar los efectos de este fenómeno natural a nivel nacional.

En este sentido, en el año 2013 se desarrolló el Programa de Medidas Preventivas y de Mitigación a la Sequía (PMPMS) para el Consejo de Cuenca Península de Yucatán en cooperación con la Universidad Autónoma de Yucatán (UADY) y la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), en el cual se identificaron focos de atención en actividades productivas como la agricultura y la ganadería, así como en la disponiblidad de agua en algunas localidades, y se definieron acciones de respuesta ante los efectos de dicho fenómeno en la Península de Yucatán.

Para el año 2014, se demandó como requisito legal que todas las ciudades con más de 20,000 habitantes deberán de contar con un Programa de Medidas Preventivas y de Mitigación de la Sequía (PMPMS), que contengan instrumentos proactivos y preventivos que les permitan establecer estrategias y acciones para un manejo del agua bajo los efectos de un fenómeno de sequía. En este sentido en la Península de Yucatán se llevan a cabo dichos programas para las ciudades de Cancún y Mérida.

Aunque el sureste mexicano no cuenta con problemas severos de sequía como otros estados del norte de la república, se hace necesario desarrollar un PMPMS para las grandes ciudades que permita identificar acciones para mejorar el desempeño de los organismos operadores de agua y garantizar el suficiente y eficiente abasto del recurso hídrico a la población.

En este sentido, el objetivo de este documento es realizar un diagnóstico de la sequía en la ciudad de Cancún, Quintana Roo y proponer medidas preventivas y de mitigación de modo que se incremente la seguridad hídrica en la ciudad.

Los objetivos específicos que se buscan cumplir en este Programa para la ciudad de Cancún son:

- Caracterizar y analizar el clima de la ciudad considerando las variables de temperatura, precipitación, evaporación y sequía.
- Evaluar la oferta y demanda de agua potable y estimar el balance hídrico en la ciudad.
- Identificar posibles escenarios futuros ante la escasez de agua.
- Proponer medidas de prevención y mitigación de la sequía para el organismo operador, depedencias y la población en general.

Para ello se proponen dos estrategias:

- Reducir y administrar el consumo de agua y mejorar la gestión antes de aumentar las fuentes de abasto y suministro.
- Establecer un sistema de información y monitoreo continuo que mejore el servicio y su eficiencia, además de permitir alertar a la población en caso de sequía para poder aplicar las medidas oportunamente.

CAPÍTULO 2. ¿QUÉ ES LA SEQUÍA?

Sin duda, en tiempos recientes el tema del agua se ha vuelto un asunto de importancia mundial. En México más de 35 millones de personas se encuentran en situación de poca disponibilidad de agua (PNH, 2014), debido en gran medida a la sobreexplotación de los acuíferos y a la contaminación del agua disponible.

La sequía se puede definir como la insuficiencia de volumen usual en las fuentes de abastecimiento debido a una menor cantidad de la lluvia para el llenado de las fuentes, derivado de un retraso en la ocurrencia de la misma, o una combinación de ambas causas naturales (DOF, 2012a). Tiene la característica de ser impredecible en el tiempo en el que inicia, en su duración, en la intensidad o severidad, y en la extensión territorial sobre la que ocurre (DOF, 2012c).

2.1 Tipos de sequía

Dependiendo de la causa sobre la que se ponga más énfasis, la sequía se puede clasificar en varios tipos. 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 ellos.

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).

2.1.3Sequía 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

Se ha comprobado que históricamente la sequía es el fenómeno meteorológico que ha causado mayor daño económico a la humanidad (Cody *et al*., 1998) y en México es el fenómeno natural que afecta a más personas.

Si bien el sureste mexicano se encuentra en una posición geográfica privilegiada y posee una mayor disponibilidad de agua que el resto del país, según un estudio de Márdero y colaboradores en el 2012, la Península de Yucatán es considerada como una de las cinco zonas del país con sequía meteorológica severa (región noreste) y con sequía fuerte (zona sur). En este estudio Quintana Roo y Campeche son de los estados más vulnerables a este tipo de sequía, ya que más del 75% de su territorio se ve afectado.

Actualmente la disponibilidad natural media per cápita de agua a nivel nacional es de 4,090 m^3/hab/año, situación crítica ya que hace 60 años era de 18,035 m^3/hab/año (CONAGUA, 2012a). La disponibilidad natural media de agua per cápita para la Península de Yucatán es de aproximadamente 7,000 m^3/hab/año (CONAGUA, 2012a) y se espera que para el 2030 se reduzca a 5,000 m^3/hab/año. Aunque ésta es una cifra alta, la disponibilidad de esta cuenca es de las que más va a bajar comparada con las demás regiones hidrológicas del país. Este dato puede reflejar que no existe una fuerte presión sobre el recurso, ya que hay mucha disponibilidad de agua, pero de continuar utlizándola al ritmo actual cada vez se va a volver más difícil extraerla y aprovecharla. Además, la cuenca Península de Yucatán es de las 3 regiones hidrológicas que se encuentran con un bajo nivel de demanda, ya que todas las demás en el país se encuentran bajo fuerte presión, por lo que representa un reservorio nacional de agua (CONAGUA, 2012b).

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, 2012c; 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.

Las acciones para enfrentar una sequía pueden ser categorizadas sobre la base del tiempo en que se espera su ejecución en dos grupos: acciones preventivas y acciones de mitigación. Las preventivas permiten estimar y organizar de manera anticipada los recursos humanos, materiales y financieros que podrían ser necesarios para enfrentar el fenómeno de la sequía. Las segundas son aquellas que son ejecutadas durante la sequía para atenuar sus impactos (DOF, 2012c).

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. 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).

CAPÍTULO 3. MARCO LEGAL E INSTITUCIONAL

3.1 Normatividad nacional

El proceso de integración del Programa de Medidas Preventivas y de Mitigación de la Sequía (PMPMS) de la ciudad de Cancún, 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.

De carácter nacional se encuentra en primera instancia la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos (DOF, 2014), la cual señala en el artículo 4° que toda persona tiene derecho al acceso, disposición y saneamiento de agua para consumo personal y doméstico en forma suficiente, saludable, aceptable y asequible.

Existen otras leyes de carácter federal que de manera indirecta están relacionadas con la gestión y aprovechamiento del agua a nivel nacional, como la Ley de Aguas Nacionales (DOF, 2013a) que tiene como objetivo regular la explotación, vedas, uso o aprovechamiento de dichas 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 (CONAGUA, 2013a).

También se encuentra la Ley de Contribución de Mejoras por Obras Públicas Federales de Infraestructura Hidráulica cuyo objetivo es regular las mejoras por 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 Comisión Nacional del Agua a través del Comité Técnico de Normalización Nacional de Medio Ambiente y Recursos Naturales, tiene a su cargo las Normas Mexicanas en materia de análisis de agua, para aguas naturales, potables y residuales tratadas, y las Normas Mexicanas de productos químicos utilizados en la potabilización del agua para uso y consumo humano, lo anterior para fomentar el uso sustentable del agua y la calidad de los servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento. Existen un total de 72 Normas Mexicanas de las cuales 47 pertenecen al rubro de muestreo y análisis de agua, 5 al de calidad del agua, 17 son de potabilización del agua para uso y consumo humano y tres que entran en la categoría de "otros" (CONAGUA, 2014a).

Con respecto a las Normas Oficiales Mexicanas relacionadas con el agua, las que se encuentran vigentes y son aplicables para las condiciones de Cancún son 17. Tratan temas como el establecimiento de límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales, sistemas de agua potable, salud ambiental, requisitos para la protección del acuífero durante el mantenimiento y rehabilitación de pozos, requisitos para la recarga artificial de acuíferos con agua residual tratada, infiltración de agua a los acuíferos, bienes y servicios, conservación del recurso agua, sistemas de agua potable, toma domiciliaria y alcantarillado sanitario, vigilancia y evaluación para el control de la calidad del agua para uso y consumo humano (DOF, 1995; 1996a, b,c; 1997a, b; 1998a, b; 1999c; 2001; 2003a, b; 2008a, b, 2012d). Además se encuentran las NOM de la Secretaría de Salud: la 117, que establece

métodos de prueba para determinación de cadmio, arsénico, plomo, estaño, cobre, fierro, zinc y mecurio en alimentos y bebidas; la 179, que establece los requisitos y especificaciones a seguir para las actividades de control de calidad del agua para uso y consumo humano y la 230, que establece los requisitos sanitarios que deben cumplir los sistemas de abastecimiento públicos y privados durante el manejo del agua (DOF, 1995; 1998a; 2003b). Las más relevantes se encuentran resumidas en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1. Contenido de las Normas Oficiales Mexicanas relacionadas con el rubro agua.

Nombre	Objetivo
NOM-001-CONAGUA-2011. Sistemas de agua potable, toma domiciliaria y alcantarillado sanitario-Hermeticidad-Especificaciones y métodos de prueba.	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.
NOM-002-CNA-1995. Toma domiciliaria para abastecimiento de agua potable-Especificaciones y métodos de prueba.	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.
NOM-003-CNA-1996. Requisitos durante la construcción de pozos de extracción de agua para prevenir la contaminación de acuíferos.	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.
NOM-004-CNA-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.	Proteger la calidad del agua en los acuíferos durante los trabajos de mantenimiento, rehabilitación y cierre de pozos, sea en forma temporal o definitiva.
NOM-011-CNA-2000. Conservación del recurso agua-Que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales.	Establecer el método base para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales superficiales y subterráneas, para su explotación, uso o aprovechamiento.
NOM-014-CONAGUA-2003. Requisitos para la recarga artificial de acuíferos con agua residual tratada.	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.
NOM-015-CONAGUA-2007. Infiltración artificial de agua a los acuíferos.-Características y especificaciones de las obras y del agua.	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.

NOM-001-SEMARNAT-1996. Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.	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.
NOM-002-SEMARNAT-1996. Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado.	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.
NOM-003-SEMARNAT-1997. Establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se re usen en servicios al público.	Establecer los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios públicos. Esto con el fin de proteger al ambiente y la salud poblacional.
NOM-004-SEMARNAT-2002. Protección ambiental.- Lodos y biosólidos.-Especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final.	Establecer las especificaciones y los límites máximos permisibles de contaminantes en los lodos y biosólidos provenientes del desazolve de los sistemas de alcantarillado, plantas potabilizadoras y plantas de tratamiento de aguas residuales.
NOM-117-SSA1-1994. 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.	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.
NOM-179-SSA1-1998. Vigilancia y evaluación del control de calidad del agua para uso y consumo humano, distribuida por sistemas de abastecimiento público.	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.
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.	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.

Fuente: DOF, 1996a, b, c; 1997a, b; 1998 b; 1999c; 2001; 2003 b; 2008a, b, 2012d.

En el año 2012 se declara la Ley General de Cambio Climático (DOF, 2012b), que tiene por objeto prevenir y mitigar los efectos actuales y futuros que el cambio del clima ejerza sobre la población y los ecosistemas, en el entendido que los recursos hídricos son un componente escencial en este esfuerzo de prevención.

De igual manera, el Pacto por México, acuerdo político nacional firmado el 2 de diciembre de 2012, incluye dentro del apartado de desarrollo sustentable, el compromiso de replantear el manejo hídrico del país, en donde establece que se atenderán de manera prioritaria y oportuna las sequías que afectan el norte y centro del país, además se impulsará el agua de mar como fuente de abastecimiento con plantas desalinizadoras (Pacto por México, 2012).

Más recientemente (2013) se ha decretado la Estrategia Nacional de Cambio Climático, instrumento que define ejes estratégicos y líneas de acción que permitan orientar las políticas de los tres ordenes de gobierno para enfrentar los efectos de este fenómeno natural en el país (ENCC, 2013). Entre sus apartados se incluye el manifestar la importancia de la investigación sobre cómo la ocurrencia de eventos climáticos como la sequía afectarán a los sectores productivos. También expone que se requiere acompañar las medidas de prevención del cambio climático con acciones económicas como la implementación de esquemas tarifarios nuevos para algunos de los sectores que más agua consumen y replantear la estructura de subsidios, así como impulsar el manejo sustentable y ahorro del recurso hídrico en todos los sectores productivos. Por último también contempla el desarrollar programas de adaptación para aumentar la disponibilidad de agua superficial y subterránea.

El Programa Nacional Hídrico 2013-2018, también busca entre sus alcances “incrementar la seguridad hídrica ante sequías e inundaciones” siguiendo acciones coordinadas de los tres órdenes de gobierno y como una de sus principales

estrategias se encuentra la implementación del Programa Nacional Contral las Sequías (PRONACOSE) (PNH, 2014).

El Programa Nacional Contra la Sequía (PRONACOSE) tendrá una duración de 6 años (2013-2018) y buscará atender, dar seguimiento, mitigar y prevenir el fenómeno recurrente de la sequía en el país con acciones más específicas multi e interdisciplinarias enfocadas en cada Consejo de Cuenca a nivel nacional. Sus dos ejes principales son la elaboración de Programas de Medidas Preventivas y la ejecución de acciones prioritarias para mitigar la sequía existente. Cada uno de los 13 Consejos de Cuenca que existen en el país ya cuentan con su Programa de Medidas Preventivas y Mitigación a la Sequía (PMPMS) elaborados en 2013.

Si bien la sequía está contemplada en el Atlas Nacional de Riesgos (CENAPRED, 2014), fue debido a un fenómeno de sequía intensa en varios estados del norte del país durante el 2011, que el Gobierno Federal estableció la "Estrategia para la Atención de los Estados Afectados por la Sequía" y se publicó el “Acuerdo por el que se instruyen acciones para mitigar los efectos de la sequía que atraviesan diversas entidades federativas” en el Diario Oficial de la Federación (2012a).

El gobierno Federal también cuenta con diversos programas relacionados con el rubro agua. Para apoyar la desinfección del agua y lograr la calidad que establece la legislación mexicana está el Programa Agua Limpia (PAL); mientras que para apoyar y coadyudar a los prestadores de servicios de agua potable, alcantarillado y/o saneamiento en la mejora de eficiencia, cobertura, calidad y/o infraestructura se encuentran los programas para la Modernización de Organismos Operadores de Agua (PROMAGUA), de Tratamiento de Aguas Residuales (PROTAR), para la Construcción y Rehabilitación de Sistemas de Agua Potable y Saneamiento en Zonas Rurales (PROSSAPYS), Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento en Zonas Urbanas (APAZU), de Devolución de Derechos (PRODDER) y el Programa Federal de

Saneamiento de Aguas Residuales (PROSANEAR) (CONAGUA, 2011b; 2012d; 2014b, c, d, e, f).

3.2 Normatividad local

De manera más particular el estado de Quintana Roo establece en el artículo 31 de su Constitución Política que…"toda persona tiene derecho al acceso, disposición y saneamiento de agua para consumo personal y doméstico en forma suficiente, salubre, aceptable y asequible" (POEQR, 2014).

También existe normatividad local que interviene de manera directa o indirecta en la prevención y mitigación de un fenómeno de sequía, como por ejemplo la Ley de Equilibrio Ecológico y la Protección del Medio Ambiente, misma que menciona en su artículo 195 que corresponde al Estado, Municipio y Sociedad la protección de los elementos que intervienen en el ciclo hidrológico. De igual manera establece que la protección de suelos, áreas boscosas y selváticas, así como el mantenimiento de los caudales básicos de las corrientes de agua y la capacidad de recarga de los acuíferos, es fundamental para mantener la integridad y el equilibrio de los elementos naturales que intervienen en el ciclo hidrológico; y finalmente establece que la preservación y el aprovechamiento sustentable del agua, así como de los ecosistemas acuáticos, es responsabilidad de los usuarios, así como de quienes realicen obras o actividades que afecten dichos recursos (POEQR, 2001). Esta ley está complementada con su reglamento, el cual regula las condiciones para la construcción de plantas de tratamiento de aguas residuales así como la disposición y transporación de estas, el registro estatal de emisiones y transferencia de contaminantes (POEQR, 2011b).

La Ley de Acción de Cambio Climático en el Estado de Quintana Roo (2013a) establece en el artículo 27 que se fomentará el impulso y el aprovechamiento sustentable de las fuentes superficiales y subterráneas de agua, promoviendo entre otras acciones la tecnificación de superficie de riego, la producción bajo condiciones

de prácticas de agricultura sustentable o agricultura protegida cuando sea viable y prácticas sustentables de ganadería, silvicultura, pesca y acuacultura. Complementariamente, la Ley Forestal del Estado de Quintana Roo regula la protección de las áreas de monte que brindan servicios ambientales como regulación del ciclo del agua, protección de las cuencas hidrológicas y mantos acuíferos y conservación de la calidad del agua (POEQR, 2013d).

Adicionalmente Quintana Roo ya cuenta con un Programa Estatal de Acción ante el Cambio Climático el cual está orientado a brindar alternativas de solución a los problemas consecuencia de los efectos del cambio climático que ya se presentan en el estado, así como prevenir posibles efectos que puedan afectarlo en el futuro. Entre los posibles efectos provocados por este fenómeno a nivel local se encuentran la salinización de mantos acuíferos, desabasto de agua, incendios forestales, menos lluvias pero más intesas y períodos de sequías (POEQR, 2013a).

En cuanto al abasto de agua potable se refiere, la Ley de Agua Potable y Alcantarillado del Estado de Quintana Roo establece las bases para la prestación y administración de los servicios de agua en el estado de Quintana Roo (POEQR, 2008), así como la Ley de Cuotas y Tarifas para los Servicios Públicos de Agua Potable y Alcantarillado, Tratamiento y Disposición de Aguas Residuales del mismo estado que establece las cuotas y tarifas de este servicio público (POEQR, 2013b). También se ha decretado una Ley para el Fomento de la Cultura del Cuidado del Agua en Quintana Roo, la cual tiene por objeto establecer una cultura de preservación y protección del vital líquido entre los habitantes de este estado (POEQR, 2013e).

Existen otras leyes que aunque no están ligadas directamente en materia de gestión y manejo del recurso hídrico, su implementación y ejecución en forma adecuada y en tiempo es de vital importancia para reducir los impactos negativos que la sequía trae

consigo, como por ejemplo la Ley de Quemas y Prevención de Incendios Forestales (POEQR, 2014b).

Es importante considerar otras leyes vinculadas indirectamente al sector agua del estado de Quintana Roo como es al caso de: la Ley de Fraccionamientos (POEQR, 2011), la Ley de Obras Públicas y Servicios Relacionados con las Mismas (POEQR, 2010b), la Ley Para la Prevención y Gestión de Residuos (POEQR, 2012b) y el Codigo Penal para el Estado Libre y Soberano de Quintana Roo (POEQR, 2010).

Para el caso del estado, la Ley de Protección Civil no incluye en ninguno de sus apartados el tema de sequía, sin embargo sí considera el combate contra incendios que se relacionan de manera indirecta a la sequía en Quintana Roo (POEQR, 2013c).

El plan de Quintana Roo plantea entre sus apartados gestionar e impulsar programas para elevar la infraestructra comunitaria de agua potable en comunidades rurales de alta marginación (Plan de Quintana Roo, 2011). También plantea lograr una cobertura del 100% de agua potable y el 80% de drenaje y saneamiento, consolidar y promover la gestión integral del recurso hídrico para preservar una adecuada calidad del agua.

El Atlas de Riesgos para el estado aún se encuentra en revisión, mientras que Cancún ya cuenta con el suyo (CENAPRED, 2014). Este último es un sistema integral de información, que permite establecer bases de datos y realizar el análisis del peligro, de la vulnerabilidad y del riesgo ante desastres, con objeto de generar mapas y sistemas geográficos de información. Con ello es posible emitir recomendaciones y establecer efectivas medidas de prevención y mitigación de desatres. Entre los diversos desastres que prevé se encuentran los hidrometeorológicos, incluyendo ciclones, inundaciones y sequías (CENAPRED, 2014).

Actualmente en el muncipio de Benito Juárez se está realizando el plan sectorial de Municipio Verde, el cual dentro del subprograma“Permiso Verde”busca identificar fuentes de contaminación atmosférica y acuífera e implementar medidas preventivas, de mitigación o correctivas, según sea el caso. Además de éste, Benito Juárez también cuenta con el Programa Cuerpos de Agua, el cuál se encuentra integrado por dos subprogramas: Laguna limpia y Cenote limpio, cuyos objetivos son realizar eventos de limpieza y monitoreo de calidad de agua en el sisteme lagunar Nichupté y en los cenotes ubicados en el municipio.

En el rubro de servicios del mismo plan Municipal se encuentra el subprograma drenaje pluvial confiable, cuya finalidad es realizar obras que consoliden la infraestructura, asi como la limpieza y/o dezolve de alcantarillas, pozos, captadores, bóvedas, etc; y el subprograma litro por litro, el cual busca eficientar la distribución de agua potable en zonas que carecen de ella (H. Ayuntamiento de Benito Juárez, 2013).

El H. Ayuntamiento de Benito Juárez cuenta con el Instituto de Planeación de Desarrollo Urbano (IMPLAN), el cuál tiene entre sus proyectos la decretación de una estructura formal de protección para la zona de extracción de agua potable, ya que el crecimiento urbano pone en riesgo de contaminación al acuífero (IMPLAN, 2014). Además, este Instituto también ha elaborado el Plan de Acción Climática Municipal (PACMUN), el cual forma parte de una iniciativa de Gobiernos Locales por la Sustentabilidad (ICLEI), con la asistencia técnica del Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC), el cual incluye puntos sobre ahorro de energía, preservación de áreas verdes, uso de tecnologías amigables con el ambiente, entre otras (IMPLAN, 2014).

El Plan de Desarrollo Urbano del Centro de Poblacion de Cancún (PDUCP) 2014-2030 tiene entre sus estrategias desarrollar un sistema hidráulico sostenible,

mejorar la prestación del servicio, tanto de agua potable como alcantarillado y saneamiento de aguas.

De igual forma hay que tomar en cuenta los reglamentos pertenecientes al municipio de Benito Juárez que se relacionan de manera directa con el agua (H. Ayuntamiento de Benito Juárez, 2013), los cuales son:

- Reglamento de obras públicas, encargado de coordinar la programación y mantenimiento de los pozos captadores de agua pluvial.

- Reglamento de construcción, mismo que reglamenta los estudios para establecer o modificar las limitaciones respecto a los usos, destinos y reservas de construcciones, tierras, aguas y selvas. También es responsable de la reparación de tuberías de agua e instalaciones sanitarias sin afectar elementos estructurales.

- Reglamento para la prestación del servicio público de recolección, transporte, tratamiento y disposición final de residuos sólidos en el municipio Benito Juárez, que en su artículo 15 prohíbe verter líquidos o aguas contaminadas o sucias, en zonas públicas y cualquier lugar no autorizado y evitar la acumulación de aguas o líquidos que puedan contaminar.

- Reglamento de ecología y de gestión ambiental del municipio de Benito Juárez, el cual promueve el uso racional y ordenado del agua así como evitar la contaminación y deterioro del manto freático; también invita a hacer un aprovechamiento de los elementos naturales, entre ellos el agua.

- Reglamento del Fondo Municipal para la Atención de Desastres Naturales del Municipio de Benito Juárez, Quintana Roo el cual contiene programas de reconstrucción y rehabilitación de vías de abastecimiento de agua.

- Reglamento de protección civil el cual considera como vitales el agua potable, abasto y alcantarillado. Además, establece como obligación para la construcción de cualquier estación de servicio de combustible, que se construyan pozos para el monitoreo de la calidad del manto freático.

3.3 Instituciones relacionadas con la sequía

Existen también una serie de secretarías y dependencias que están directa o indirectamente relacionas con medidas de prevención y/o mitigación de la sequía: a nivel federal se encuentran la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) y la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), a nivel estatal la Secretaría de Ecología y Medio Ambiente (SEMA) y la Procuraduría de Protección al Ambiente del estado de Quintana Roo, el Instituo de Impacto y Riesgo Ambiental y la Secretaría de Desarrollo Agropecuario y Rural (SDAR). Entre sus objetivos están el impulsar, promover o favorecer el cuidado y preservación del ambiente, así como proteger, restaurar y conservar los recursos naturales y ecosistemas. La SDAR tiene como fin impulsar el desarrollo agropecuario, forestal e indígena mediante la ejecución de las políticas y programas sectoriales sustentables (Gobierno del Estado de Quintana Roo, 2011).

Adicionalmente existe la Comisión de Agua Potable y Alcantarillado del Estado de Quintana Roo (CAPA), organismo que se encarga de administrar eficientemente el recurso hídrico entregando con equidad, cantidad, calidad, competitividad y sustentabilidad, los servicios de agua potable, drenaje y saneamiento a los quintanarroenses (Gobierno del Estado de Quintana Roo, 2011).

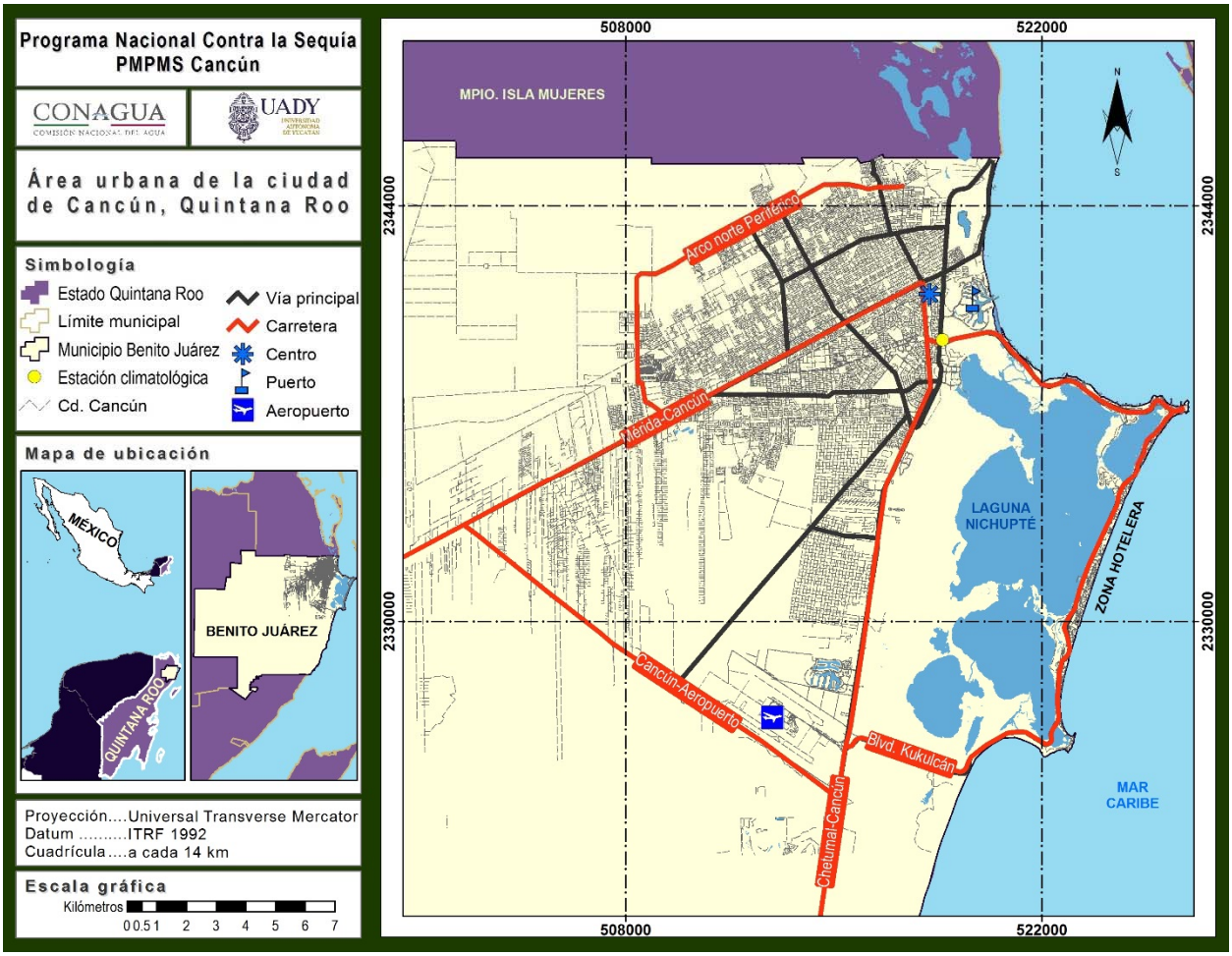
Particularmente en la ciudad de Cancún, se localiza la empresa AGUAKAN, quien se encarga del servicio de abastecimiento y manejo del agua potable en el polo turístico y áreas adyacentes. También existen empresas de carácter privado que se encargan de complementar el abasto de agua potable en el estado proporcionando el servicio

de transporte de pipas para la venta de agua potable a los usuarios que lo requieran, entre las que se encuentran Pipas de agua Escalas, Pipas de agua Peña, Servicio Especializado García, Agua Potable Escalante, H_2O Pipas, Servicio de Agua Potable en Pipa Goliat, Servicio Especializado de Pipas de Agua Potable, Pipas de Agua Potable de Cancún, Pipas Cab y Agua Inmaculada Cancún.

CAPÍTULO 4. DESCRIPCIÓN DE LA CIUDAD DE CANCÚN

La ciudad de Cancún se encuentra en el estado de Quintana Roo ubicada al Noreste de la Península de Yucatán en las coordenadas geográficas 21°09'38"N, 86°50'51"O; su altitud va de 1 a 8 msnm debido a una pendiente que crece de este a oeste, paralela a toda la ciudad (SEMAR, 2012).

Figura 4.1. Mapa de la ciudad de Cancún.

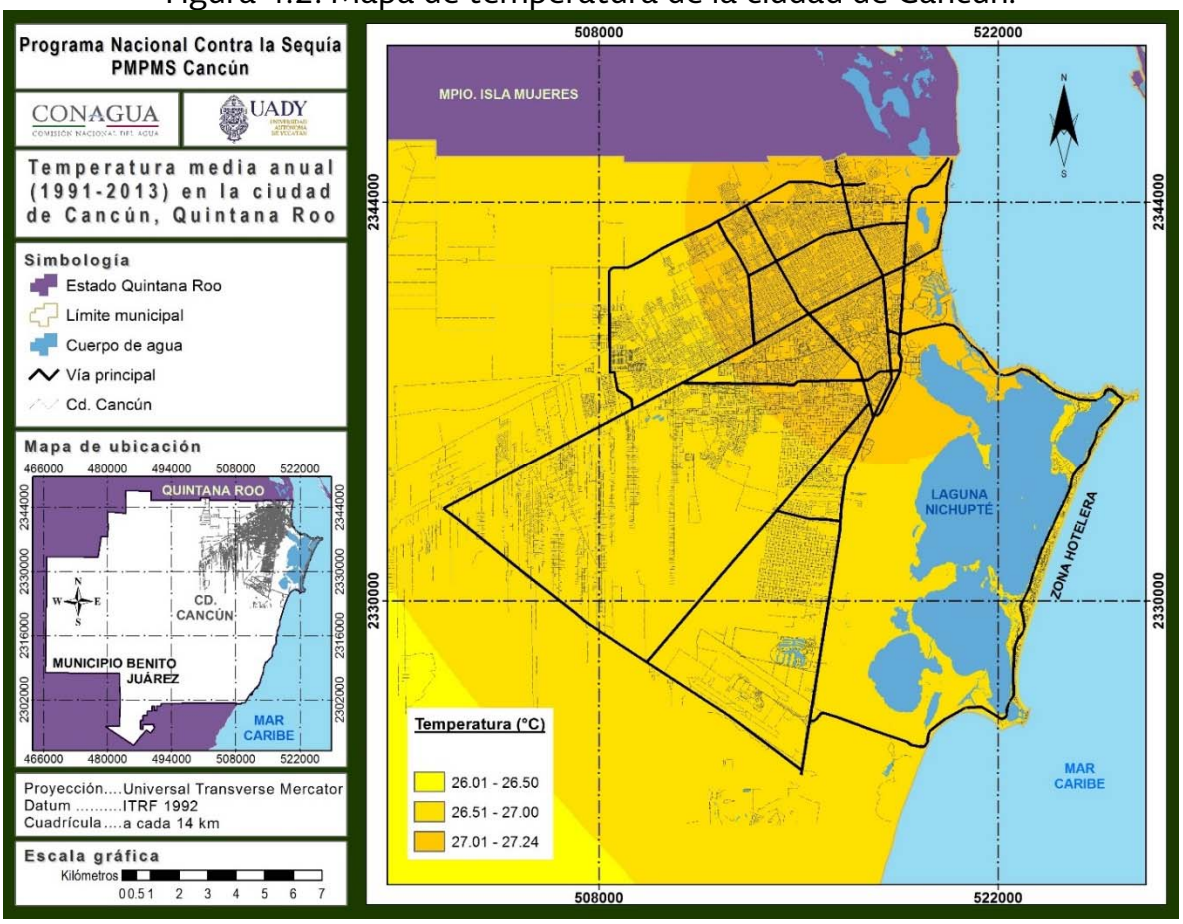


Fuente: Elaboración propia. La información cartográfica se obtuvo de CONABIO (http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/), INEGI (http://www.inegi.gob.mx) y OpenStreetMap (http://www.openstreetmap.org). La Estación climatológica se extrajo del archivo "Red de estaciones climatológicas.kml" proporcionado por CONAGUA.

4.1 Medio físico

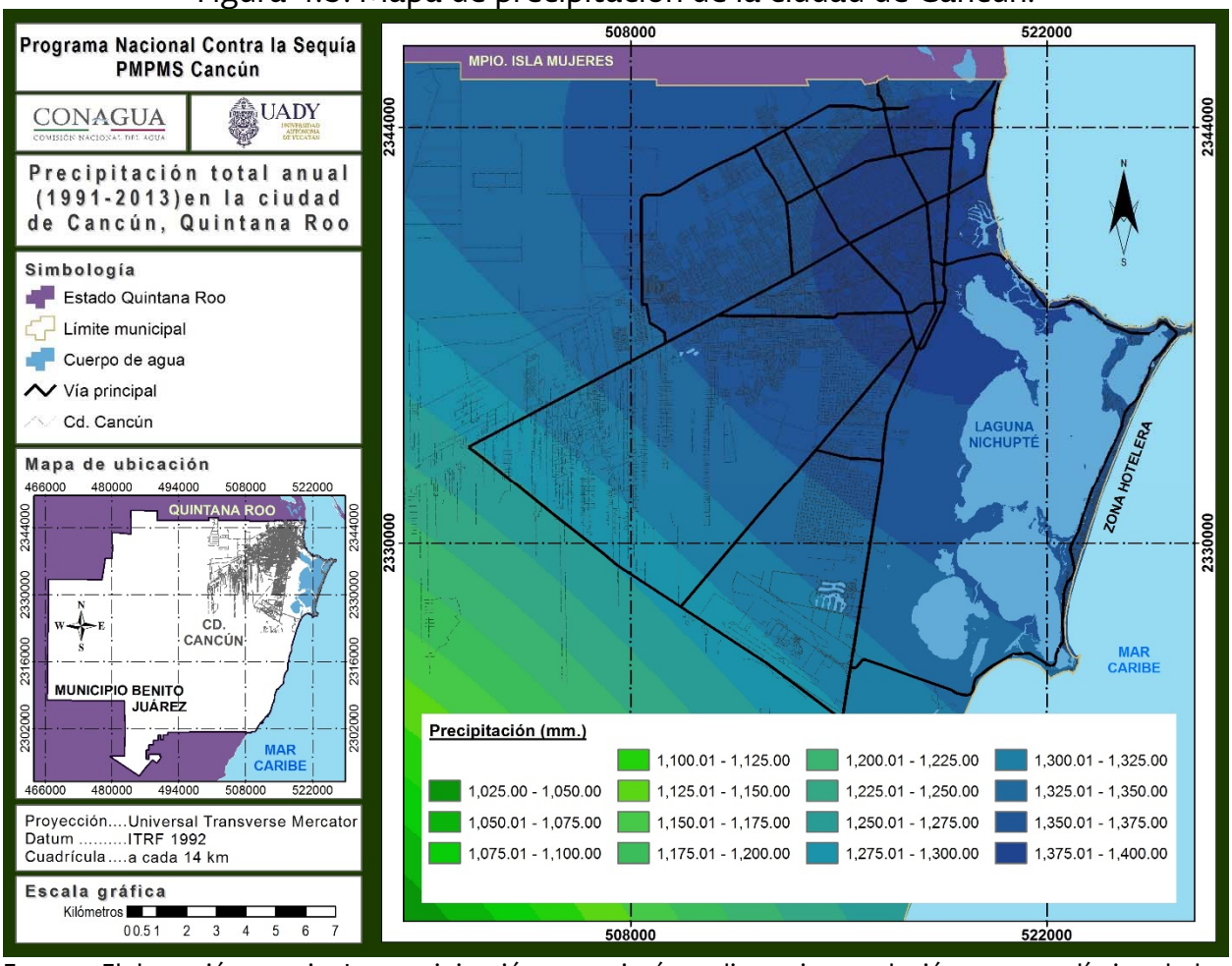
La ciudad de Cancún se caracteriza por un clima Aw cálido subhúmedo, con lluvias todo el año y una temperatura media anual de 25°C (SEMAR, 2012) (Figura 4.2), con una máxima histórica promedio de 31.9°C y mínima de 22.5°C (años 1988 a 2013). La temperatura máxima extrema para la ciudad de Cancún se registró en agosto de 2002 y fue de 41.5°C y la mínima extrema fue de 9.5°C en marzo del año 1996. La precipitación media anual es de 1,380.6 mm y la evapotranspiración promedio es de 1,296.2 mm (Figura 4.3).

Figura 4.2. Mapa de temperatura de la ciudad de Cancún.



Fuente: Elaboración propia. La temperatura se estimó mediante interpolación geoestadística de los datos de las estaciones de Cancún, Central Vallarta, Kantunilkin, Leona Vicario, Solferino, Victoria, Ideal, Playa del Carmen, Cozumel y Chan Cenote, proporcionados por CONAGUA. La información cartográfica se obtuvo de CONABIO (http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/), INEGI (http://www.inegi.gob.mx) y OpenStreetMap (http://www.openstreetmap.org).

Figura 4.3. Mapa de precipitación de la ciudad de Cancún.



Fuente: Elaboración propia. La precipitación se estimó mediante interpolación geoestadística de los datos de las estaciones de Cancún, Central Vallarta, Kantunilkin, Leona Vicario, Solferino, Victoria, Ideal, Playa del Carmen, Cozumel y Chan Cenote, proporcionados por CONAGUA. La información cartográfica se obtuvo de CONABIO (http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/), INEGI (http://www.inegi.gob.mx) y OpenStreetMap (http://www.openstreetmap.org).

El acuífero de la región norte de la península es permeable y permite un rápido movimiento lateral del agua subterránea, con poca carga hidráulica, bajo un gradiente hidraúlico y un nivel del manto freático estable (Granel *et al.*, 2002).

Debido a la conformación geológica y topográfica del estado de Quintana Roo, las corrientes de agua que abastecen al estado son subterráneas, con excepción del Río Hondo y otras corrientes superficiales presentes en el estado como son Río

Escondido, Arroyo Azul y Arroyo Ucum (INAFED, 2010). Adicionalmente existen cuerpos de agua superficiales como las Lagunas de Bacalar, Chichankanab, Cobá, Bojórquez, Somosaya, Río Inglés, Morales, La Ciega y Laguna Caleta, las últimas cinco conforman el sistema lagunar Nichupté que rodea a la ciudad de Cancún (Collado-Vides y González-González, 1995; INAFED, 2010; PMDBJ, 2013; PDUCP, 2014).

También existen depósitos subterráneos de agua conocidos como cenotes o dolinas producto de la filtración del agua de lluvia en las rocas calizas del subsuelo. En algunas partes bajas con arcillas impermeables, la lluvia también se acumula formando depósitos conocidos como aguadas (INAFED, 2010).

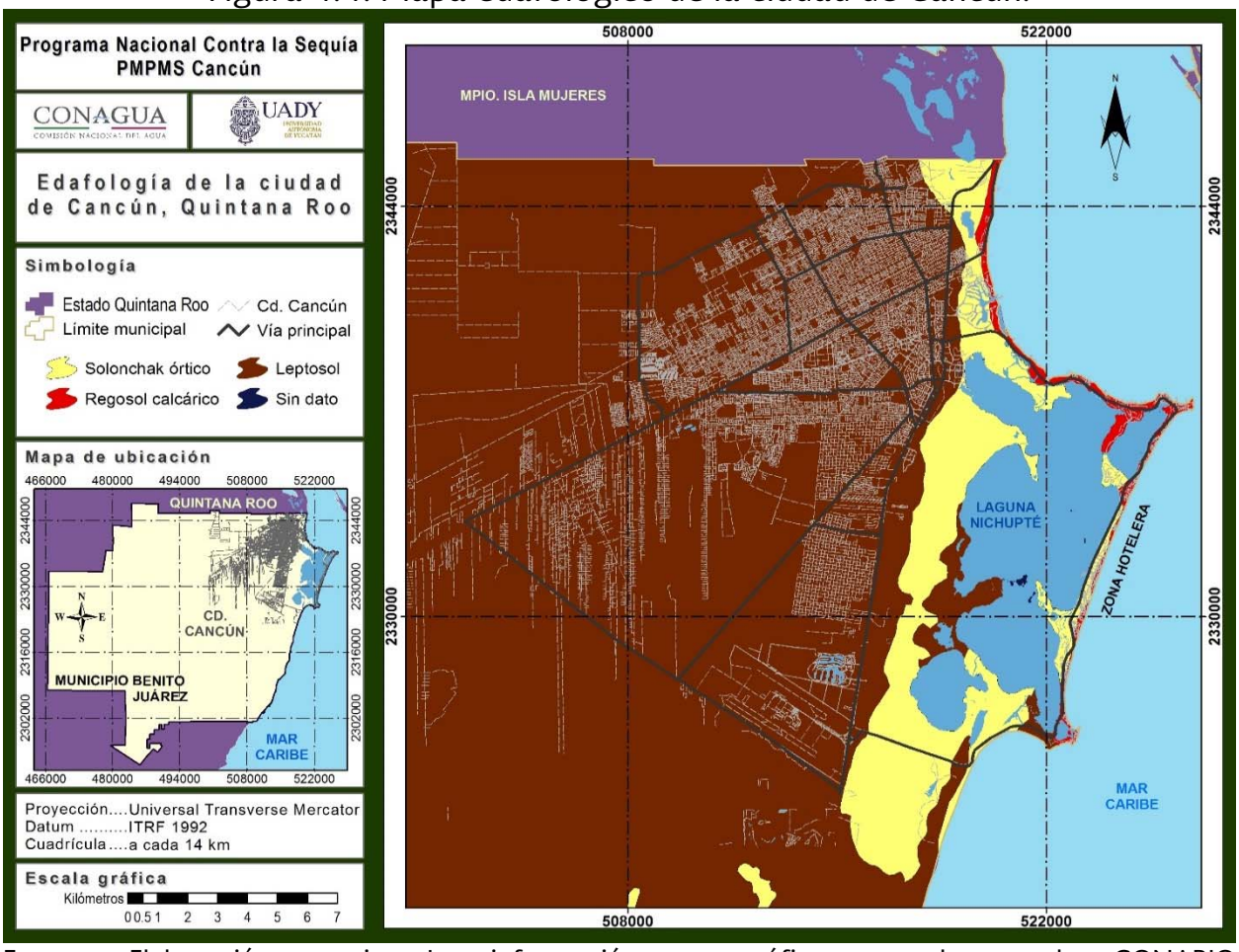
El suelo de esta zona está constituído geólogicamente por sedimentos carbonatados marinos del Terciario y Cuaternario, en donde las rocas más antiguas son calizas, dolomitizadas, silicificadas y recristalizadas, de color claro (EXYCO, 1989). Se presentan arcillas calcáreas denominadas sascab y lodo de manglar formadas por una capa de finas arenas rebajadas por el oleaje (CNA, 1991). Esta capa de rocas y materiales cuyo espesor abarca aproximadamente 10 m se encuentra sobre la rocas calizas permeables de la formación Carrillo Puerto del Terceario (CNA, 1991).

Más abajo, la capa del subsuelo se encuentra constituída por roca calcárea compacta con abundantes fracturas que no permiten la formación de corrientes superficiales. Los alrededores del sistema de lagunas Nichupté se encuentran constituídos por material arcilloso impermeable o semimpermeable (CNA, 1992).

Los tipos de suelo dominantes en la ciudad son Leptosoles, Solonchaks y Regosoles. Los leptosoles ocupan la mayor parte de la superficie de la ciudad, se caracterizan por ser suelos jóvenes poco profundos, de color negro a café obscuro con menos de 20cm de espesor, su drenaje es eficiente y son ricos en materia orgánica. Estos suelos son aptos para el desarrollo de construcciones urbanas (PDUCP, 2014) (Figura 4.4).

En las zonas inundables cerca de las lagunas se encuentra el tipo Solonchak, los cuales son suelos salinos de color negro parduzco. Su drenaje es lento y presenta un elevado contenido de materia orgánica, son poco susceptibles a la erosión. En la playa se encuentra el tipo Regosol que es arenoso y poco desarrollado y en esta región está constituido por material suelto calcáreo de organismos marinos. Debido a su escasa o nula consolidación, ninguno de estos suelos son aptos para realizar construcciones (PDUCP, 2014) (Figura 4.4).

Figura 4.4. Mapa edafológico de la ciudad de Cancún.



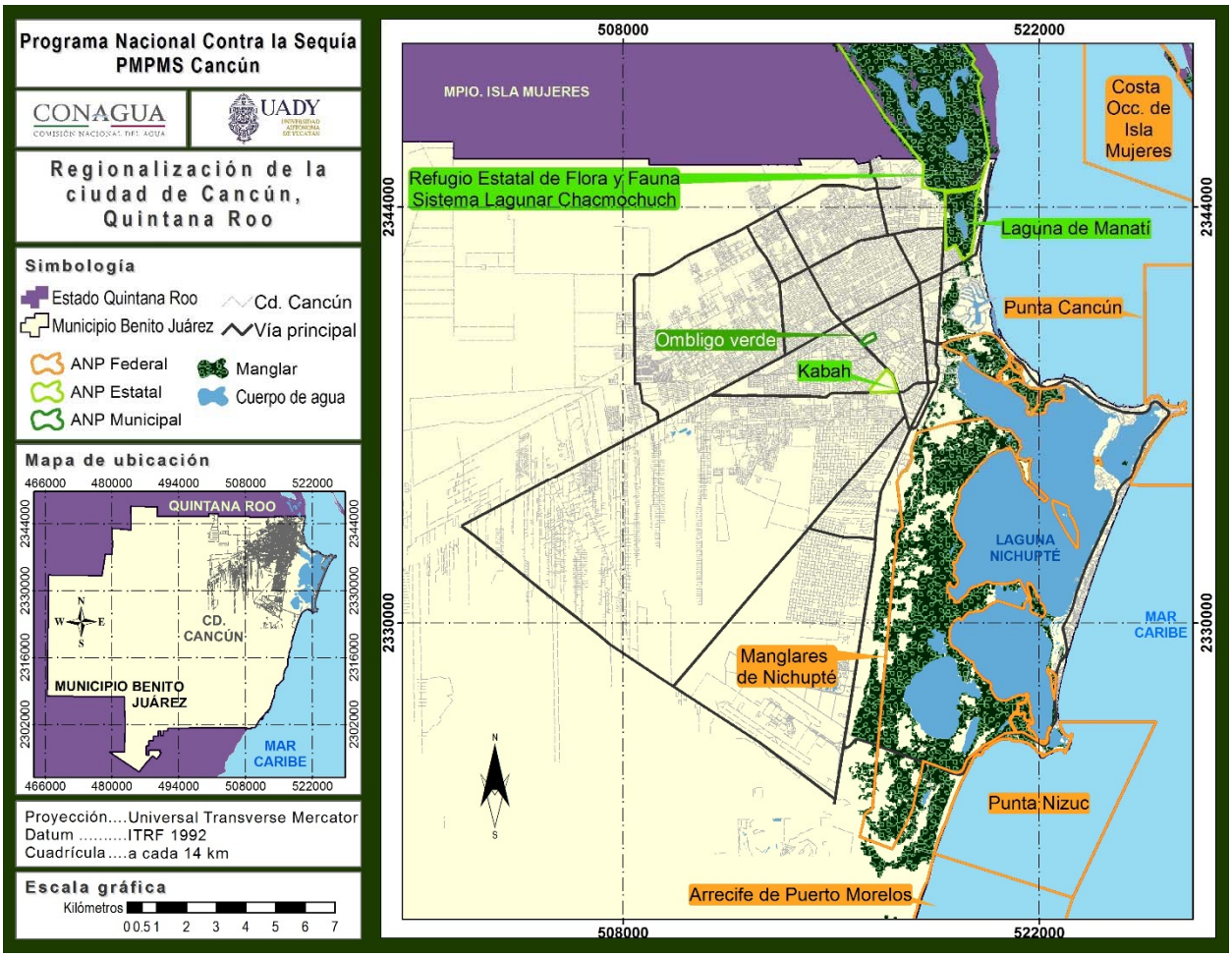
Fuente: Elaboración propia. La información cartográfica se obtuvo de CONABIO (http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/) y OpenStreetMap (http://www.openstreetmap.org). Los tipos de suelos de la clasificación FAO 1970 se correlacionaron con la World Reference Base for Soil Resources (WRB) de 2007 según García-Gil *et al.*, 2013.

La ciudad de Cancún se encuentra en una zona propensa a la presencia de huracanes (INEGI, 2002) y entre los más severos que han impactado esta región se encuentran Gilberto, Wilma y Dean (CONAGUA, 2012b) que han causado daños económicos cuantiosos a esta zona turística.

Abarcando parte de la ciudad de Cancún se encuentra el Área Natural Protegida denominada Costa Occidental de Isla Mujeres, Punta Cancún y Punta Nizuc dentro de la categoría de Parque Marino (INE, 1998), también se ubica el Área de Protección de Flora y Fauna Manglares de Nichupté, considerada también como sitio RAMSAR (Vázquez-Lule *et al.*, 2009), el Refugio Estatal de Flora y Fauna Parque Ecológico Kabah y la Zona de Preservación Ecológica Municipal Ombligo Verde (POEQR, 2012a; SEMAR, 2012; H. Ayuntamiento de Benito Juárez, 2013). En la parte norte se encuentra la Zona Sujeta a Conservación Ecológica Laguna Manatí y la Zona Sujeta a Conservación Ecológica, Refugio Estatal de Flora y Fauna Sistema Lagunar Chacmochuch (DOF, 1999a, b; Segrado Pavón *et al.*, 2010; H. Ayuntamiento de Benito Juárez, 2013) (Figura 4.5).

Adicionalmente, en la ciudad de Cancún se encuentran dos zonas arqueológicas: El Rey y San Miguelito, ambas en la zona hotelera y abiertas al público (INAH, 2014).

Figura 4.5. Regionalización de las Areas Naturales Protegidas de la ciudad de Cancún.



Fuente: Elaboración propia. La información cartográfica se obtuvo de CONANP (http://sig.conanp.gob.mx/website/pagsig/informacion/info.htm), CONABIO (http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/), INEGI (http://www.inegi.gob.mx) y OpenStreetMap (http://www.openstreetmap.org). El ANP municipal "Ombligo verde" se ubicó siguiendo las indicaciones en su decreto y se digitalizó con base a una imagen de satélite.

4.2 Población

Se prevé un reto para el abasto de agua en Cancún debido al elevado crecimiento de la población de esta ciudad; para 1976, año en que se inauguró el primer hotel en la zona, habían en Cancún 15 mil habitantes; 10 años despúes la cifra había aumentado a 100 mil, con una tasa de crecimiento anual del 26%. Años más tarde fue creciendo a un ritmo más lento del 13% anual y alcanzó los 324 mil habitantes para 1996

(Velázquez, 2006). En el 2010 la población era de 628,306 habitantes (INEGI, 2010a), cifra que ha aumentado casi en un 50% en los últimos 50 años y se espera que rebase el millón para el 2030 (Tabla 4.1 y Tabla 4.2).

Para el 2010, el 68% de la población era mayor de 15 años, el 3% mayor de 60 y los jóvenes entre 18 y 24 años ocuparon el 13% del total de los habitantes (Tabla 4.1).

Tabla 4.1. Población del municipio de Benito Juárez y la ciudad de Cancún.

Nombre de la localidad	Población total	Población de 18 a 24 años	Población de 15 a 64 años	Población de 60 años y más	Relación hombres-mujeres*
Municipio de Benito Juárez	661,176	92,136	448,936	25,724	102.7
Cancún	628,306	87,590	428,415	24,227	102.4

Fuente: INEGI Censo de población y vivienda 2010 (2010b). * Por cada 100 hombres cuántas mujeres hay.

Tabla 4.2. Proyección de población el municipio de Benito Juárez y la ciudad de Cancún al 2030.

Localidades	2014	2015	2020	2025	2030
Municipio de Benito Juárez	760,364	782,398	892,026	998,461	1,101,010
Cancún	719,496	740,100	842,187	940,865	1,036,043

Fuente: CONAPO, 2010b.

4.2.1 Grado de marginación

Un indicador empleado para diferenciar entidades federativas en función del impacto global de las carencias que padece la población como resultado de la falta de acceso a diferentes oportunidades, servicios o bienes, es el Índice de Marginación. A partir del análisis de los indicadores relacionados como educación básica, residencia en viviendas inadecuadas, residencia en localidades pequeñas, dispersas y aisladas, y la percepción de ingresos monetarios bajos, se construye éste índice de referencia. La

estimación de este indicador permite acercarse al conocimiento de la desigualdad regional existente de las oportunidades sociales (CONAPO, 2010a).

En este sentido, la ciudad de Cancún presenta un grado de marginación bajo (Tabla 4.3), mientras que las dos ciudades vecinas de Mérida y Campeche presentan un grado de marginación muy bajo, por lo que Cancún como ciudad se encuentra en un nivel de marginación ligeramente más alto que las dos capitales de los estados vecinos.

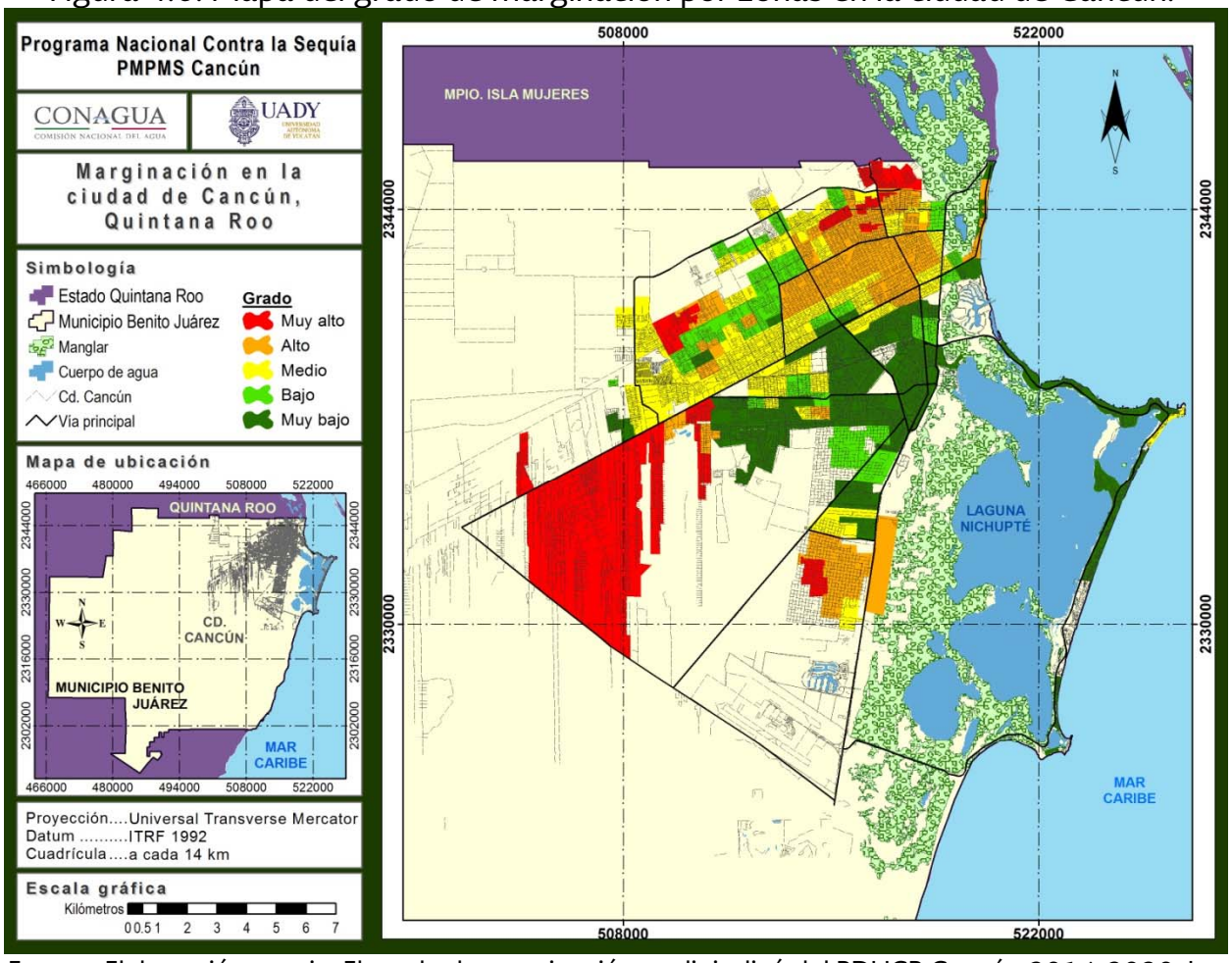
En la ciudad de Cancún el grado de marginación es muy bajo en gran parte del territorio, particularmente en la zona hotelera y la zona centro; y es hacia la periferia que empieza a aumentar. Al norte de la carretera Mérida-Cancún se registran índices medios y altos, mientras que hacia el suroeste existe una zona de asentamientos irregulares que registra un grado muy alto de marginación (Figura 4.6).

Tabla 4.3. Indicadores socioeconómicos y grado de marginación de Cancún.

Localidad	**Población de 15 años o más analfabeta (%)**	**Viviendas particulares habitadas sin excusado (%)**	**Viviendas particulares habitadas sin energía eléctrica (%)**	**Viviendas particulares habitadas sin disponibilidad de agua entubada (%)**	**Grado de marginación**
Cancún	2.63	3.26	1.59	9.30	Bajo

Fuente: CONAPO, 2010a.

Figura 4.6. Mapa del grado de marginación por zonas en la ciudad de Cancún.



Fuente: Elaboración propia. El grado de marginación se digitalizó del PDUCP Cancún 2014-2030. La información cartográfica se obtuvo de CONABIO (http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/), INEGI (http://www.inegi.gob.mx) y OpenStreetMap (http://www.openstreetmap.org).

4.2.2 Índice de Desarrollo Humano (IDH)

El Índice de Desarrollo Humano (IDH) se compone de tres dimensiones: salud, educación e ingreso, y cada dimensión es medida a partir de variables establecidas por las Naciones Unidas. El nivel de desarrollo humano de Quintana Roo se calcula mediante los logros de la entidad en salud (0.866), educación (0.691) e ingreso (0.731) alcanzados en relación con los parámetros observados a nivel internacional. El resultado global para el estado es un Índice de Desarrollo Humano (IDH) de 0.759 en 2010, que es comparable con el nivel de desarrollo de países como Trinidad y

Tobago y Antigua y Barbuda, de acuerdo con la nueva metodología del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (CONAPO, 2014).

En 2010, Benito Juárez fue el municipio con mayor índice de desarrollo humano en Quintana Roo, con un IDH de 0.781. Este valor es similar al de otros municipios de la península como Mérida (IDH = 0.807) y Campeche (IDH = 0.797). En el rubro de salud, educación e ingreso, los índices para el municipio son 0.877, 0.715 y 0.759 respectivamente, los cuales están por encima del valor estatal (Tabla 4.4) (CONAPO, 2014).

Tabla 4.4. Índice de Desarrollo Humano del municipio de Benito Juárez y de Quintana Roo al 2010.

Localidad	Índice de salud	Índice de educación	Índice de ingreso	IDH
Quintana Roo	0.866	0.691	0.731	0.759
Municipio de Benito Juárez	0.877	0.715	0.759	0.781

Fuente: CONAPO, 2014.

4.3 Actividades económicas

Específicamente en el municipio de Benito Júarez las actividades primarias son muy escasas, se practica la agricultura con cultivo de maíz para autoconsumo sólo en algunas localidades, la ganadería también se realiza a pequeña escala, en su mayoría para autoconsumo, y muy poca producción de ganado bovino, porcino y aves de corral para comercializar con el resto del municipio. Por su parte, el aprovechamiento forestal se encuentra en crisis actualmente, ya que desde el paso del huracán Wilma (2005) ha mostrado una baja significativa debido al derribo del arbolado. Este problema va más allá de sólo afectar a la economía, ya que ha fomentado que ejidatarios vendan sus terrenos, propiciando la proliferación de asentamientos irregulares los cuales son una de las principales causas de incendios forestales debido al desmonte de los mismos. En el centro de la población de Cancún no se realiza ninguna de estas actividades. La pesca también está en declive, sólo existen

pequeños proyectos de acuacultura de proyectos sociales y empresariales apoyados por el gobierno (PDUCP, 2014).

El sector secundario se enfoca a la comunicación y transporte, construcción y la industria manufacturera. Esta última comienza a cobrar relevancia, ya que se tienen talleres de producción de estructuras metálicas, mueblerías, vidrieras y confección de uniformes. Por su parte, la industria de la construcción se ha vuelto la segunda actividad económica más importante debido al número de empleados que tiene (PDUCP, 2014).

El 92.4% de todas las actividades económicas de la ciudad de Cancún corresponden al sector terciario. Dentro de éste, los comercios al por menor son los más representativos (en 2010 se registraron 8,697 comercios, equivalentes al 43%), seguido de los servicios de alojamiento y preparación de alimentos, servicios, comercio al por mayor y servicios profesionales. La zona Centro y la Hotelera son las que generan mayor cantidad de empleo (PDUCP, 2014).

La población económicamente activa de la ciudad de Cancún en el 2010 era del 46% del total de sus habitantes y ascendía a 293,994 individuos (INEGI, 2010b). Para el 2012 está cifra se elevó a 360,289 individuos (INEGI, 2012b) (Tabla 4.5).

Tabla 4.5. Población Económicamente Activa en el municipio de Benito Juárez y Cancún.

Año	Indicador	Municipio de Benito Juárez	Cancún
2010	Población Económicamente Activa	307,649	293,994
	Población Económicamente No Activa	181,512	172,071
2012	Población Económicamente Activa	ND	360,289
	Población Económicamente No Activa	ND	175,855

Nota: ND: No determinado

Fuente: INEGI, 2010b; 2012b.

En el 2010, el estado de Quintana Roo aportó el 1.4% del PIB nacional, con más de 176 mil millones de pesos. Las actividades terciarias fueron las que más aportaron al PIB estatal con un porcentaje de 88% (PDUCP, 2014).

4.4 Caracterización del sistema agua en Cancún

Particularmente, en el estado de Quintana Roo la disponibildiad de agua se ha ido reduciendo, y aunque esta disminución no representa un riesgo de sequía severo, es necesario tomar en consideración el buen manejo y estado de conservación de la misma que permita garantizar el abasto a la población y en particular, al sector turístico tan importante en el estado.

En este sentido, como parte de la problemática asociada con el abasto de agua para la ciudad de Cancún, el plan municipal de Benito Juárez (2013) reconoce que los cuerpos de agua como lagunas, cenotes y el propio manto freático se encuentran en riesgo por las descargas de aguas negras directas al subsuelo y filtraciones.

El extenso crecimiento hotelero y de servicios particularmente de la Isla de Cancún, en donde casi la totalidad de la superficie se encuentra pavimentada o construída,

no permite la filtración del agua de lluvia en el suelo y al escurrir acarrea metales pesados, y otros compuestos contaminantes hacia la laguna (Wiese, 1996).

También se ha identificado que existe una insuficiente cantidad de pozos de absorción que permita la adecuada captación de agua pluvial (Weise, 1996; PMDBJ, 2013), por lo que los problemas del agua para la ciudad se reducen en la contaminación y problemas en su captación y distribución espacial y temporal (Velázquez, 2006).

Se identificó que existe una inequidad en la distribución del agua en la ciudad de Cancún, ya que en algunas zonas urbanas no es suministrada continuamente durante las 24 horas al día como lo es en la zona hotelera (Bitrán, 1999; Velázquez, 2006).

4.4.1 Organismo operador del agua

El municipio de Benito Juárez-Cancún nació en los años 70 como un proyecto federal. Desde 1976 su población creció a una tasa media anual del 15%; hacia 1993, la infraestructura de agua y alcantarillado no alcanzaba a cubrir el crecimiento de la población, misma situación que ocurría en Isla Mujeres. Por ello, ese mismo año el Gobierno del Estado junto con los municipios de Benito Juárez-Cancún e Isla Mujeres instrumentó un esquema de participación empresarial para impulsar el desarrollo de los servicios y otorgó a Desarrollos Hidráulicos de Cancún (DHC) la concesión integral del agua potable (DHC-AGUAKAN, 2011).

Desde el 1° de enero de 1994, DHC-AGUAKAN opera los servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento de los municipios de Benito Juárez-Cancún e Isla Mujeres.

A la fecha se han invertido más de 2,158 millones de pesos en la prestación del servicio de agua potable, alcantarillado y saneamiento. Se ha logrado incrementar la

cobertura de agua potable al 100% (más de 210 millones de litros al mes, con un consumo promedio diario por habitante de 230 l), además de lograr el tratamiento del 100% de las aguas recolectadas (DHC-AGUAKAN, 2014).

Otros de los logros alcanzados son la obtención y refrendo de la Certificación Industria Limpia otorgada por la PROFEPA, la Certificación IS0 9001:2008 de los dos laboratorios de calidad del agua y del laboratorio de verificación de medidores. DHC-AGUAKAN además es innovadora en el uso de tecnología para la operación diaria de los servicios, como el "Idroloc", que permite detectar fugas en la red de agua potable sin interrumpir el servicio; convirtiéndose en la primera empresa en América Latina en utilizar esta técnica (DHC-AGUAKAN, 2012).

En la zona turística, AGUAKAN ofrece el suministro de agua potable de manera completa y eficiente, alcanzando una cobertura del 100% en abasto de agua potable y sistema de alcantarillado; es importante señalar, que los escasos usuarios de este sector consumen un porcentaje importante del agua potable producida por la empresa (Bitrán, 1999).

CAPÍTULO 5. INFORMACIÓN CLIMÁTICA DE CANCÚN

Los datos para caracterizar el clima de la ciudad de Cancún fueron obtenidos de la única estación climatológica de la ciudad que se denomina CANCUN-CAPA y es la número 23155, se ubica al inicio de la zona hotelera en la latitud 21.1567, longitud -86.8203 a 9 msnm (Ver figura 4.1). Es una Estación Climatológica de tipo Convencional de la Comisión Nacional del Agua (EMA) y registra información de variables meteorológicas de temperatura, precipitación y evaporación desde hace 22 años (1991-2013). La información de esta estación fue proporcionada por la dirección técnica del organismo de cuenca de la Península de Yucatán. Adicionalmente se obtuvieron datos complementarios para las variables de temperatura y precipitación de los años 1988 a 1990 de las normales climatológicas del Sistema Meteorológico Nacional del año 2010.

5.1 Temperatura

La temperatura histórica promedio de la ciudad de Cancún es de 27.1°C con una variación de 2.4°C entre la media más alta y la más baja para el periodo 1988-2013. En los últimos 25 años, las temperaturas máxima y mínima promedio han sido de 33.4°C y 24.2°C respectivamente. Sin embargo, durante estos mismos años se han presentado temperaturas muy por encima de estos valores, alcanzando valores extremos de hasta 41.5°C de máxima y 9.5°C de mínima.

Si bien esos valores son datos muy ocasionales, estos podrían volverse más frecuentes debido al gradual aumento de las temperaturas. En el 2013, la Academia Nacional de Investigación y Desarrollo realizó un estudio de vulnerabilidad al cambio climático de la ciudad de Cancún. En él se analizaron dos posibles escenarios a futuro, uno donde el crecimiento económico fuera rápido y hacia mitad de siglo el uso de energías alternativa aumentaría (A1B), y otro donde el crecimiento económico fuera

fragmentado y los gases de efecto invernadero serían muy altos (A2). En ambos escenarios existe un aumento de temperatura: para el 2020, de 1ºC y 1.1ºC respectivamente, para el 2050 de 2ºC y 1.9°C y en 2080 de 2.9ºC y 3.3ºC (ANIDE, 2013). Por lo que se prevé que las temperaturas sigan aumentando en la ciudad de Cancún.

5.1.1 Temperatura media

La temperatura media histórica (1988-2013) para la ciudad de Cancún ha presentado una tendencia cambiante a lo largo del tiempo, registrando un valor promedio mínimo de 25.7°C en 2010, máximo de 28.1°C en 2001 y un promedio general de 27.1°C (Tabla 5.1 y Figura 5.1).

Los valores extremos absolutos encontrados de la temperatura media varían aproximadamente en 10 grados, presentándose un valor extremo máximo de 31°C registrado en el mes de agosto del 2004 y un mínimo de 21.2°C en diciembre de 2010.

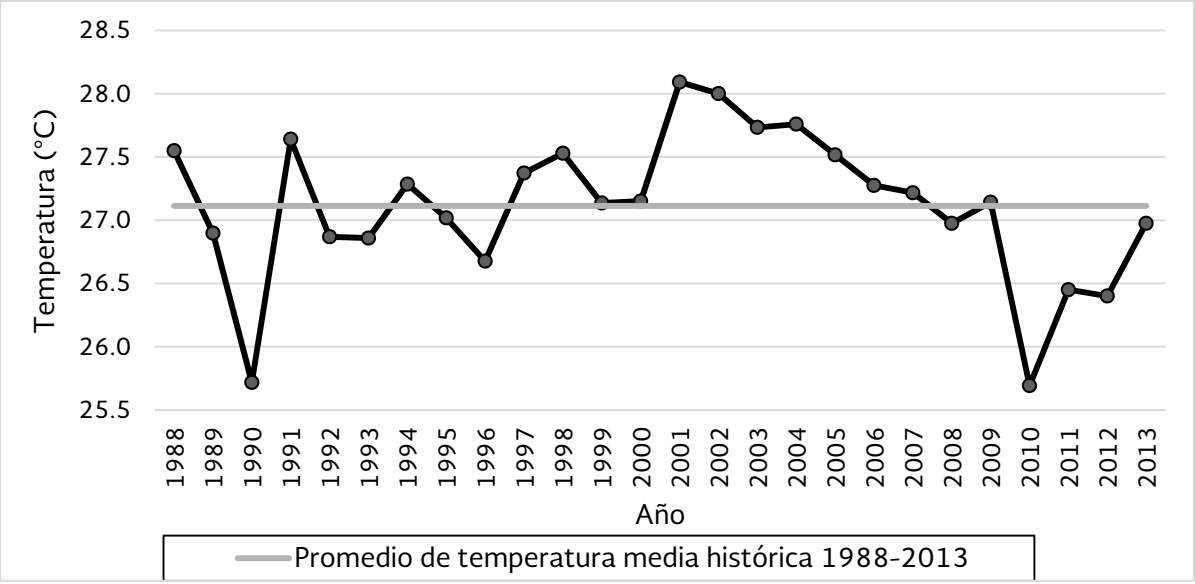
Tabla 5.1. Serie temporal de temperatura media mensual para la ciudad de Cancún.

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1988	ND	ND	ND	27.1	27.9	28.5	29.5	ND	28.4	27.2	26.6	24.8
1989	ND	24.8	25.3	27.2	28.3	ND	28.7	ND	ND	ND	ND	ND
1990	25.4	25.4	25.5	26.4	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
1991	ND	ND	26.2	28.3	28.4	29.3	29.1	28.9	28.3	27.3	25.4	25.3
1992	23.9	24.0	26.0	27.1	26.7	29.2	29.0	29.1	28.8	26.6	26.8	25.2
1993	25.0	24.4	25.2	26.8	27.8	28.6	29.4	28.6	28.3	27.3	26.3	24.5
1994	24.8	25.8	25.5	27.8	28.5	29.6	29.2	29.5	28.1	27.8	26.4	24.4
1995	24.0	23.8	25.7	27.5	29.5	28.8	29.2	29.1	28.6	27.3	25.9	24.9
1996	23.1	24.0	24.2	27.3	28.3	28.9	29.4	28.4	29.1	27.2	25.6	24.6
1997	24.2	25.6	26.5	27.3	28.7	29.1	30.1	30.2	28.8	28.0	26.1	24.0
1998	24.2	23.9	25.0	27.8	29.0	30.4	29.4	30.1	29.7	28.6	27.1	25.3
1999	24.8	25.2	26.3	28.3	29.8	28.7	28.8	29.1	28.7	27.0	24.7	24.1
2000	23.6	24.5	26.0	27.4	29.4	28.8	29.9	29.2	28.9	26.9	26.9	24.3
2001	23.5	27.6	26.8	28.7	29.1	30.4	30.8	30.6	28.6	28.5	26.2	26.3
2002	25.1	25.3	26.3	28.7	30.0	29.2	30.9	30.8	29.6	28.9	26.3	24.9
2003	22.4	26.9	28.4	27.2	30.6	30.2	29.9	30.7	28.5	28.3	26.7	23.0
2004	24.2	25.0	26.5	27.3	29.2	29.8	30.2	31.0	29.4	28.6	27.0	24.9
2005	24.2	25.2	26.5	27.2	30.0	29.4	29.7	30.5	30.0	26.6	26.3	24.6
2006	24.3	24.3	25.8	27.5	28.2	29.0	30.2	30.2	30.2	28.2	24.4	25.0
2007	25.5	24.6	26.4	27.1	28.2	29.0	30.3	29.1	28.3	27.5	25.7	24.9
2008	24.1	25.7	26.1	27.3	29.3	28.5	29.0	29.8	29.2	26.4	24.2	24.1
2009	23.4	23.9	25.2	27.1	28.5	28.9	29.7	30.4	29.9	28.8	25.0	24.9
2010	22.5	22.0	22.8	26.2	28.0	29.2	28.2	29.4	28.5	25.8	24.5	21.2
2011	22.8	24.4	25.5	27.8	28.9	28.2	28.1	28.9	28.5	25.1	24.9	24.3
2012	23.8	24.6	26.3	27.0	27.9	27.6	28.6	28.5	28.2	26.3	23.7	24.3
2013	24.4	25.2	23.4	27.4	28.5	28.2	27.9	27.9	26.9	28.6	27.9	27.4

Nota: ND: No determinado.

Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por la CONAGUA.

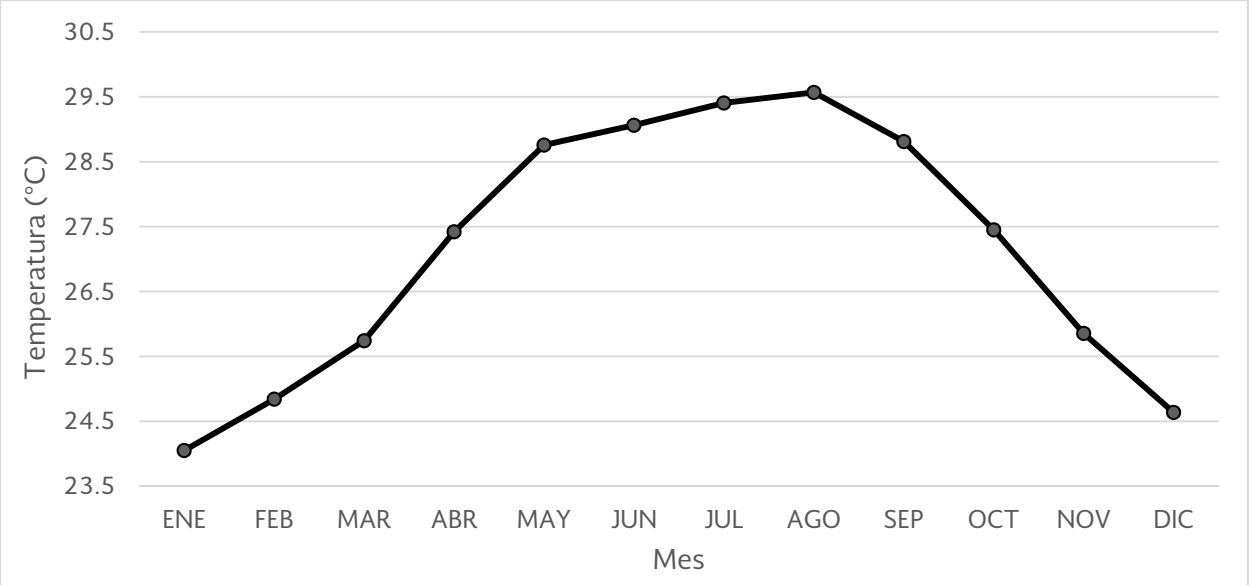
Figura 5.1. Temperatura media anual histórica de Cancún 1988-2013.



Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por la CONAGUA.

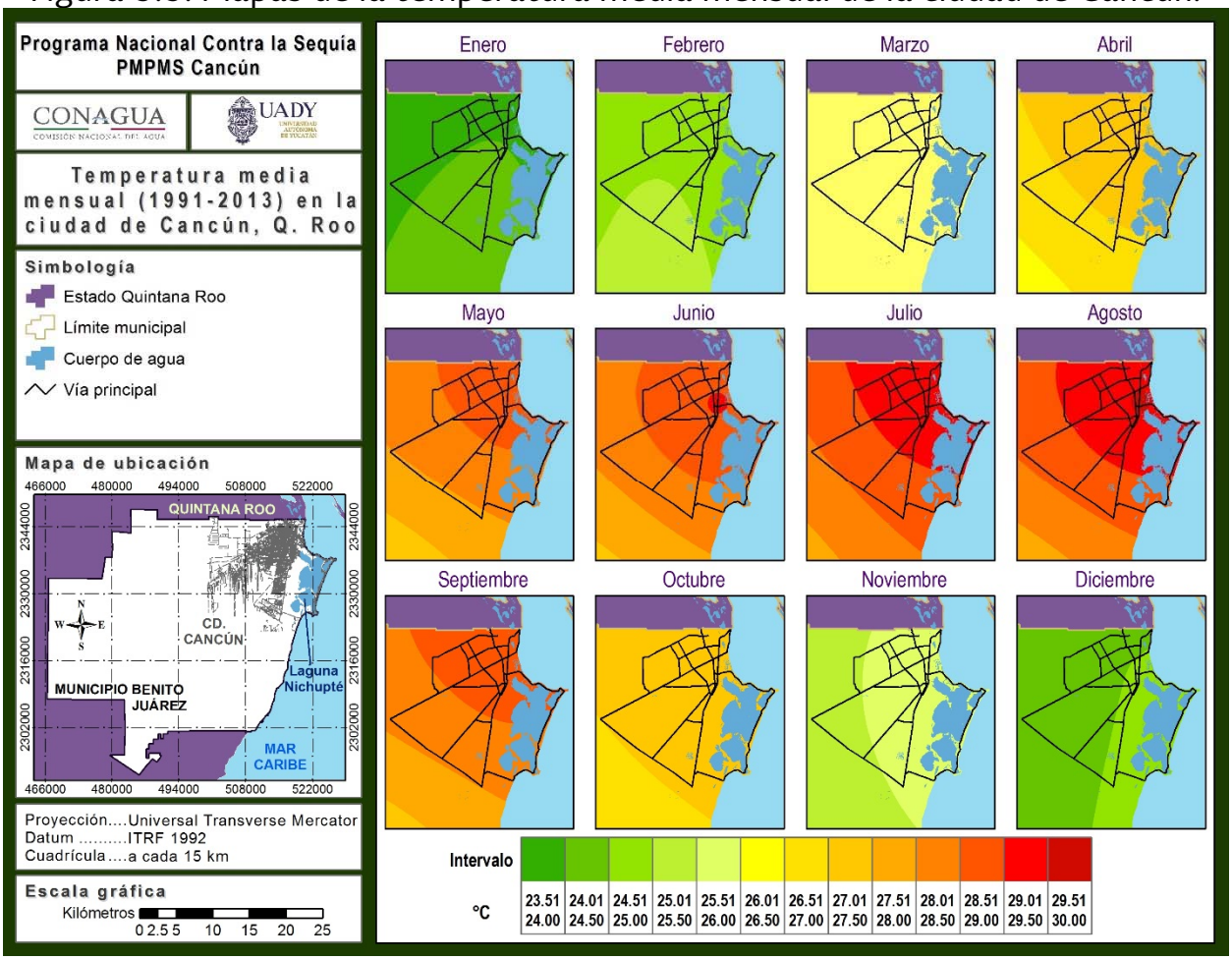
Analizando las temperaturas medias promedio, es notable que históricamente (1988-2013) el mes más caliente en Cancún es agosto en donde se registra un promedio de temperaturas medias de 29.6°C y el mes más frio es enero con un valor mínimo de 24.1°C. Enero, febrero y diciembre son los meses en que se presentan las temperaturas medias más bajas para la ciudad de Cancún, y julio y agosto cuando se registran las más altas (Figuras 5.2 y 5.3).

Figura 5.2. Temperatura media histórica mensual de Cancún 1988-2013.



Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por la CONAGUA.

Figura 5.3. Mapas de la temperatura media mensual de la ciudad de Cancún.



Fuente: Elaboración propia. La temperatura se estimó mediante interpolación geoestadística de los datos de las estaciones de Cancún, Central Vallarta, Kantunilkin, Leona Vicario, Solferino, Victoria, Ideal, Playa del Carmen, Cozumel y Chan Cenote, proporcionados por CONAGUA. La información cartográfica se obtuvo de CONABIO (http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/), INEGI (http://www.inegi.gob.mx) y OpenStreetMap (http://www.openstreetmap.org).

5.1.2 Temperatura máxima

El promedio histórico (1988-2013) de las temperaturas máximas para la ciudad de Cancún es de 31.7°C, los datos se encuentran por abajo del promedio de 1988 a 1999 y por arriba hasta el año 2009 y luego presentan una caída en el 2010 (Tabla 5.2 y figura 5.4).

La variación en los valores extremos absolutos de la temperatura máxima es de 11.3°C, siendo agosto de 2003 el mes más caliente en la historia de la ciudad con un valor máximo más extremo de 41.5°C y el valor mínimo de 29.5°C en diciembre de 2010.

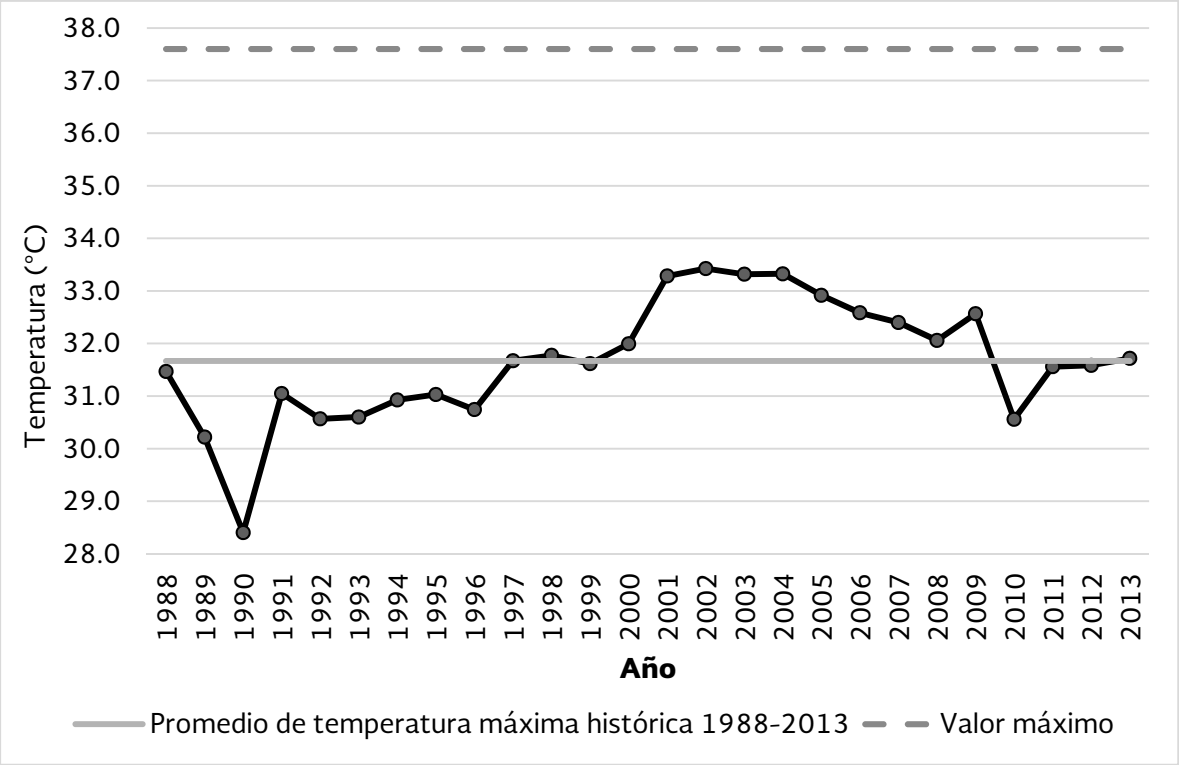
Tabla 5.2. Serie temporal de temperatura máxima promedio mensual para la ciudad de Cancún.

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1988	ND	ND	ND	31.2	31.7	31.9	33.1	ND	31.8	30.4	30.0	27.7
1989	ND	28.3	28.9	30.7	31.3	ND	31.7	ND	ND	ND	ND	ND
1990	28.0	27.9	28.1	29.4	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
1991	ND	ND	30.4	31.7	31.7	32.6	32.6	32.7	31.8	30.4	28.5	28.1
1992	28.0	27.5	29.7	30.5	31.1	32.6	32.7	33.4	33	29.9	29.8	28.7
1993	28.8	28.6	29.8	30.9	31.7	31.8	33.1	32.6	31.8	30.7	29.2	28.1
1994	27.7	29.3	29.2	31.5	32.6	33.4	33.1	33.7	31.7	31.4	29.7	27.7
1995	27.6	28.3	30.0	31.3	33.9	32.7	33.2	33.0	32.9	31.5	29.6	28.2
1996	26.6	28.3	28.4	31.5	32.4	32.8	34.2	32.6	33.6	30.9	29.1	28.5
1997	28.1	29.7	31.0	31.6	33.3	33.5	35.1	35.5	33.4	32.0	29.5	27.4
1998	27.7	28.7	29.4	32.5	33.8	34.8	33.9	34.9	33.7	32.4	30.3	29.3
1999	28.9	29.9	31.7	33.5	34.8	33.0	33.3	34.1	33.2	30.7	28.2	28.1
2000	28.3	29.5	31.8	32.9	34.2	33.3	35.4	33.9	33.2	31.1	31.6	28.8
2001	28.6	32.7	32.6	34.5	34.8	36.0	37.0	36.5	33.6	32.3	29.9	30.9
2002	30.4	30.2	32.5	34.9	35.7	34.1	37.1	37.3	34.6	34.4	30.8	29.1
2003	27.2	32.5	34.1	33.5	36.9	35.6	35.5	36.9	35.1	33.6	31.0	27.9
2004	29.0	30.0	32.4	33.2	34.7	35.3	36.4	37.6	35.2	34.0	32.0	30.1
2005	29.7	30.8	31.9	33.2	35.7	34.7	34.9	36.4	35.8	31.1	30.9	29.9
2006	29.1	29.3	31.1	33.7	33.8	34.3	36.0	36.4	36.5	33.0	28.8	29.0
2007	30.0	29.5	31.7	32.9	34.2	34.4	36.2	34.5	33.3	32.1	30.2	29.8
2008	29.1	30.5	31.3	33.0	34.8	33.6	34.3	35.5	34.3	30.3	28.8	29.2
2009	28.6	29.3	31.0	32.7	34.0	34.2	35.4	36.6	36.1	34.3	29.5	29.1
2010	26.6	26.8	28.9	31.2	32.8	34.0	32.8	34.4	33.4	30.4	29.1	26.3
2011	27.9	29.8	30.9	33.5	34.8	32.8	33.0	34.3	33.9	29.4	29.4	29.0
2012	28.3	29.3	32.0	33.1	33.4	32.2	33.9	33.6	33.8	30.9	28.8	29.7
2013	29.1	30.3	28.3	33.2	34.5	33.2	32.9	32.7	31.3	33.2	31.1	30.8

Nota: ND: No determinado.

Fuente: Elaboración propia de datos proporcionados por la CONAGUA.

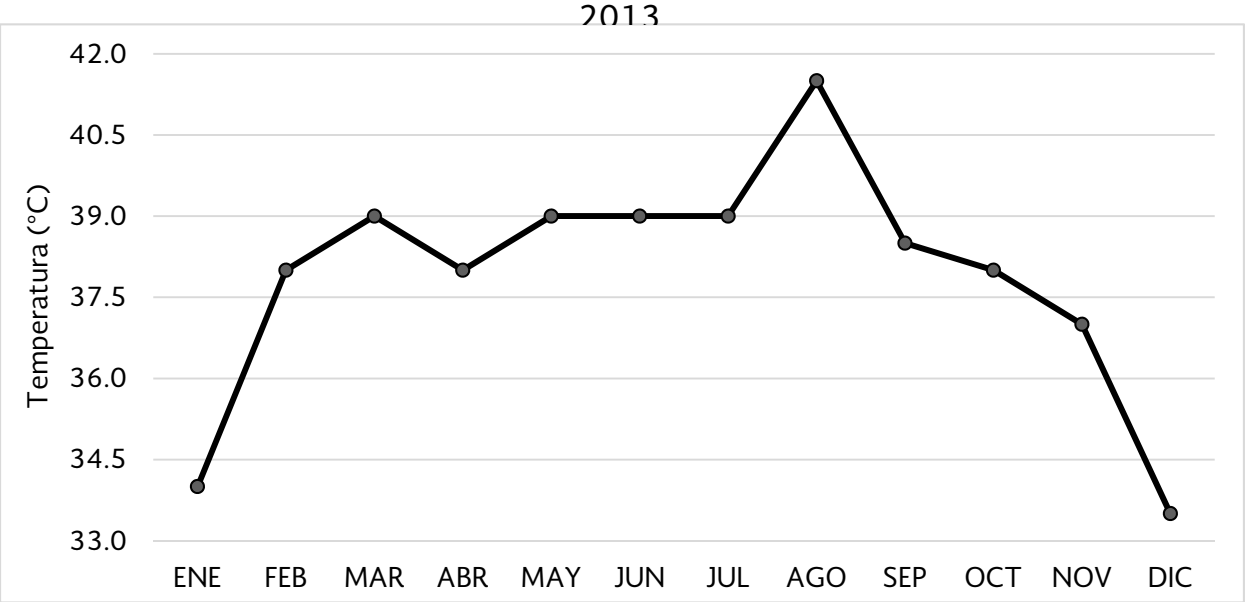
Figura 5.4. Temperatura máxima promedio anual de Cancún 1988-2013.



Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por la CONAGUA.

Se observa que la temperatura máxima mensual extrema registrada para cada mes del periodo 1988-2013 en la ciudad de Cancún presenta su valor histórico más alto durante el mes de agosto con un valor de 41.5°C y el la temperatura extrema más baja de 33.5°C en el mes de diciembre (Figura 5.5).

Figura 5.5. Temperatura máxima extrema histórica mensual de Cancún 1988-2013



Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por la CONAGUA.

5.1.3 Temperatura mínima

Los promedios históricos (1988-2013) de la temperatura mínima anuales en la ciudad de Cancún presentan una tendencia decreciente a lo largo del tiempo, con un valor promedio de 22.6°C. Es notable que de 1988 al 2002 las temperaturas mínimas anuales se encuentran por arriba de la media, y de ahí en adelante se ubican por debajo del promedio (Tabla 5.3 y figura 5.6). El valor promedio más alto de la temperatura mínima fue de 24.2°C en el año 1991 y la más baja de 20.8°C en 2010.

Los valores absolutos extremos de la temperatura mínima varían en una diferencia de 14.5 grados, el más alto de 24°C y el más bajo de 9.5°C, siendo marzo de 2006 el mes más frío en la historia de Cancún.

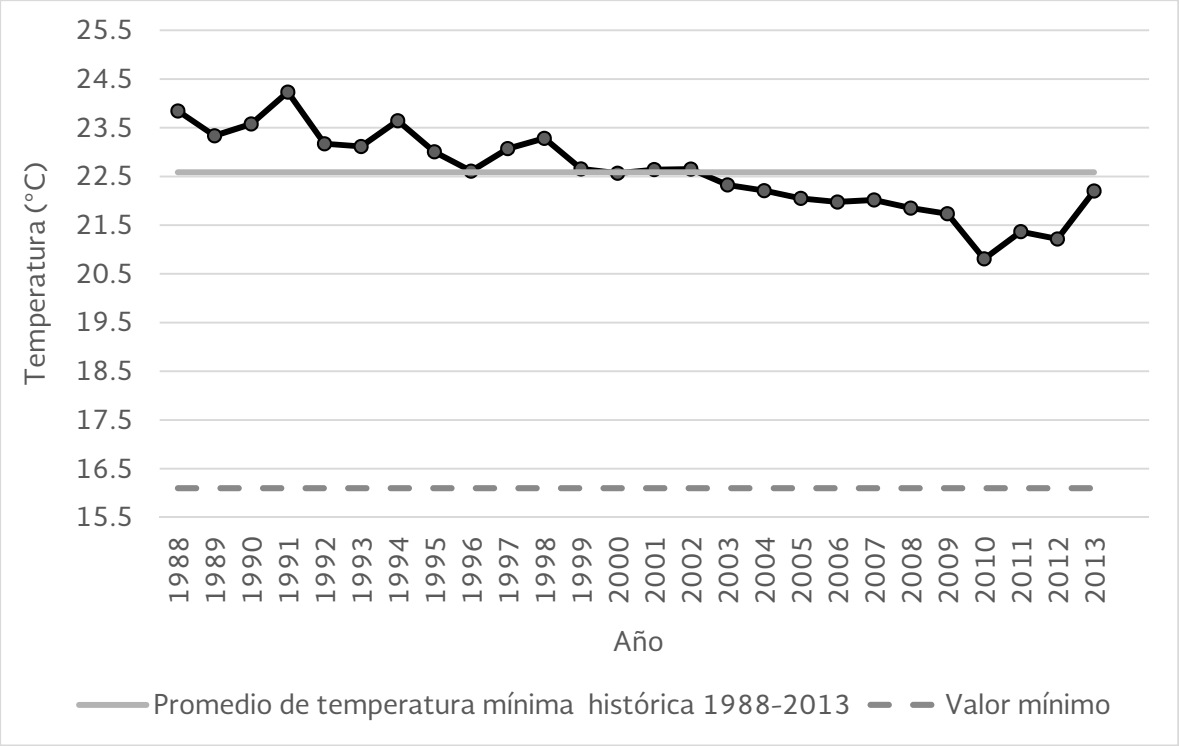
Tabla 5.3. Serie temporal de temperatura mínima promedio mensual para la ciudad de Cancún.

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1988	ND	ND	ND	23.1	24.1	25.3	ND	ND	25.1	24.1	23.1	21.9
1989	ND	21.2	21.8	23.8	25.4	ND	25.9	ND	ND	ND	ND	21.7
1990	22.9	22.9	22.9	23.4	ND	ND	25.6	ND	ND	ND	ND	ND
1991	ND	ND	22.0	24.8	25.1	25.9	25.5	25.2	24.8	24.2	22.3	22.6
1992	19.8	20.6	22.3	23.6	22.4	25.8	25.3	24.9	24.5	23.3	23.8	21.8
1993	21.2	20.2	20.7	22.7	24.0	25.4	25.7	24.5	24.8	23.9	23.3	21.0
1994	21.8	22.2	21.7	24.1	24.5	25.9	25.3	25.4	24.5	24.1	23.1	21.2
1995	20.4	19.3	21.4	23.6	25.2	24.9	25.1	25.2	24.2	23.1	22.1	21.5
1996	19.6	19.7	20.1	23.1	24.1	24.9	24.7	24.2	24.6	23.4	22.2	20.6
1997	20.4	21.5	21.9	23.0	24.1	24.6	25.1	24.8	24.2	24.0	22.7	20.6
1998	20.6	19.2	20.6	23.0	24.2	25.9	24.9	25.3	25.7	24.8	23.9	21.3
1999	20.7	20.5	21.0	23.2	24.9	24.3	24.4	24.1	24.1	23.3	21.3	20.1
2000	19.1	19.7	21.5	22.0	24.7	24.6	24.4	24.6	24.7	23.4	22.2	20.0
2001	18.5	21.9	21.0	22.8	23.4	24.9	24.7	24.9	23.6	23.8	20.7	21.5
2002	19.9	20.4	21.4	22.6	24.3	24.1	24.6	24.2	24.5	23.4	21.6	20.8
2003	17.6	21.4	22.4	21.2	24.4	24.8	24.5	24.4	23.7	23.0	22.4	18.1
2004	19.4	20.0	20.6	21.4	23.6	24.4	24.0	24.5	23.7	23.2	22.0	19.7
2005	18.6	19.6	21.0	21.2	23.6	24.0	24.5	24.7	24.1	22.1	21.8	19.4
2006	19.5	19.3	20.5	21.3	22.6	23.6	24.5	24.1	24.0	23.4	20.0	20.9
2007	20.9	19.8	21.1	21.3	22.2	23.5	24.3	23.6	23.3	22.8	21.3	20.1
2008	19.0	20.9	20.8	21.5	23.7	23.3	23.7	24.1	24.1	22.5	19.6	19.0
2009	18.2	18.5	19.4	21.6	22.9	23.6	24.1	24.1	23.8	23.3	20.6	20.7
2010	18.3	17.2	16.7	21.2	23.2	24.4	23.7	24.3	23.5	21.3	19.8	16.1
2011	17.8	19.1	20.1	22.1	22.9	23.6	23.3	23.4	23.1	20.8	20.5	19.7
2012	19.4	19.9	20.7	20.8	22.4	23.0	23.3	23.4	22.6	21.7	18.5	18.9
2013	19.7	20.0	18.6	21.6	22.4	23.2	22.8	23.0	22.5	23.9	24.7	24.0

Nota: ND: No determinado.

Fuente: Elaboración propia de datos proporcionados por la CONAGUA.

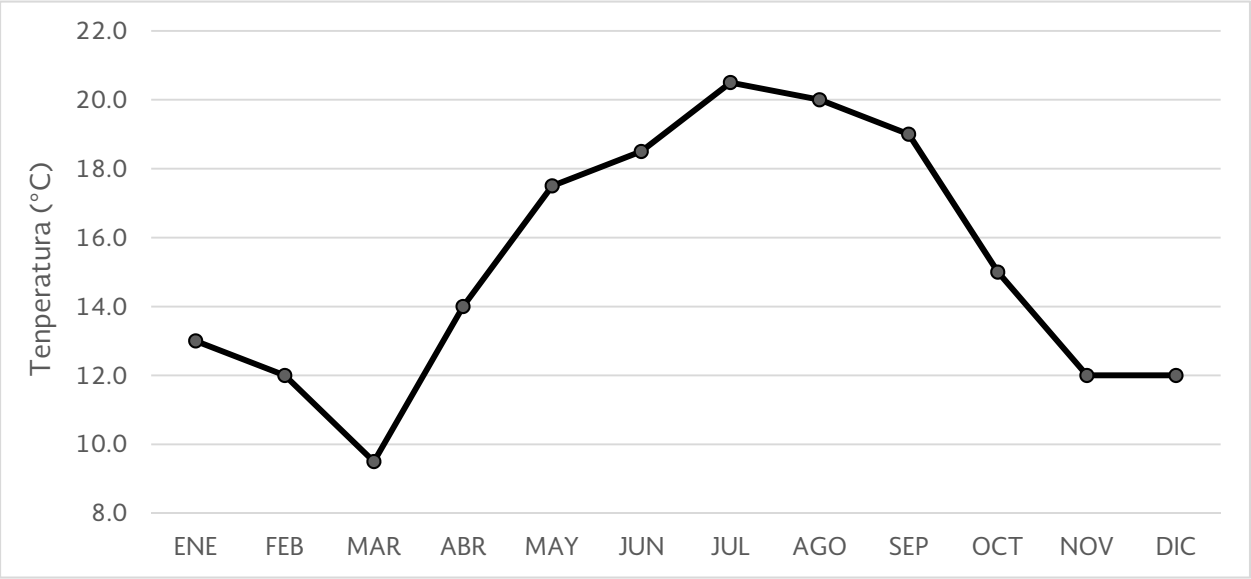
Figura 5.6. Temperatura mínima promedio anual de Cancún 1988-2013.



Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por la CONAGUA.

Los valores históricos de la temperatura mínima revelan un valor mínimo de 9.5°C para el mes de marzo y el más alto de 20.5°C registrado en julio. De diciembre a marzo es cuando se presentan las temperaturas más bajas en la ciudad de Cancún (Figura 5.7).

Figura 5.7. Temperatura mínima extrema mensual histórica de Cancún 1988-2013.



Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por la CONAGUA.

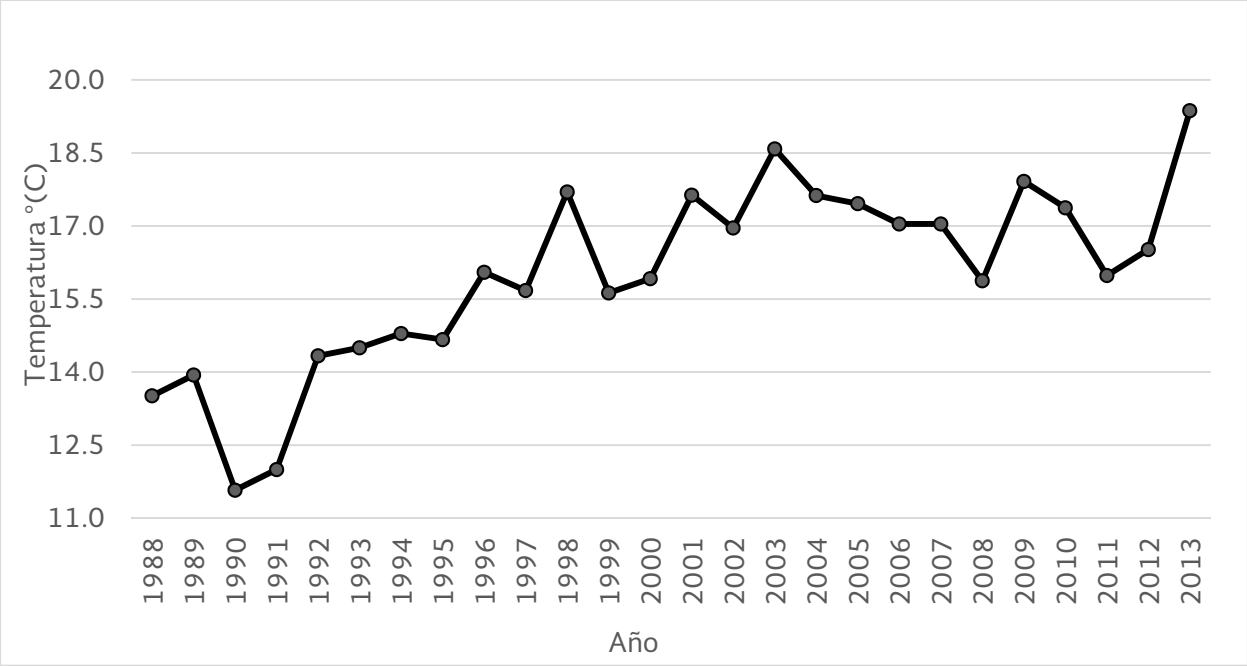
5.2 Oscilación térmica

La oscilación térmica es la diferencia entre la temperatura máxima y mínima del día, en Cancún se presenta una tendencia en aumento de la oscilación térmica promedio en un rango que va de 11.5°C a 19.3°C (Figura 5.8), con una variación de 13.5 grados entre el valor máximo (23.5°C) y el mínimo (10°C). Estos datos indican que la diferencia entre las temperaturas máximas y mínimas en Cancún ha ido incrementándose con el paso del tiempo, provocando temperaturas más extremas, sobre todo entre 2012 y 2013 se observa un salto de casi 3 grados de diferencia.

La amplitud térmica se define como la diferencia entre la temperatura media del mes más cálido y del más frío, y si este valor es menor de 10 grados se considera que es baja. Para el caso de Cancún, esta diferencia es de 5.5 grados, lo que indica que es poca la diferencia entre la temperatura media promedio del mes más caliente en la

historia de Cancún, comparada con la del mes más frío, por lo que se considera que la amplitud térmica es baja.

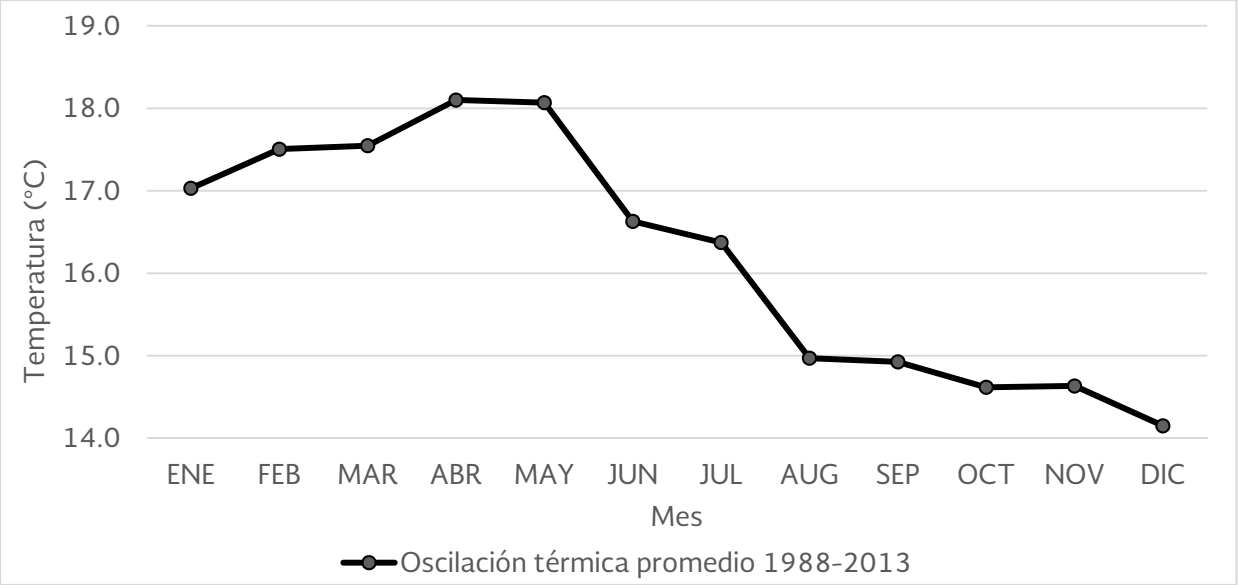
Figura 5.8. Oscilación térmica promedio de Cancún 1988-2013.



Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por la CONAGUA.

De la misma manera, se observa que los meses que registran la mayor oscilación térmica son abril y mayo, generalmente cuando hace más calor. Por su parte, de agosto a diciembre se registran los valores más bajos de oscilación térmica para la ciudad de Cancún (Figura 5.9).

Figura 5.9. Oscilación térmica mensual histórica de Cancún 1988-2013.

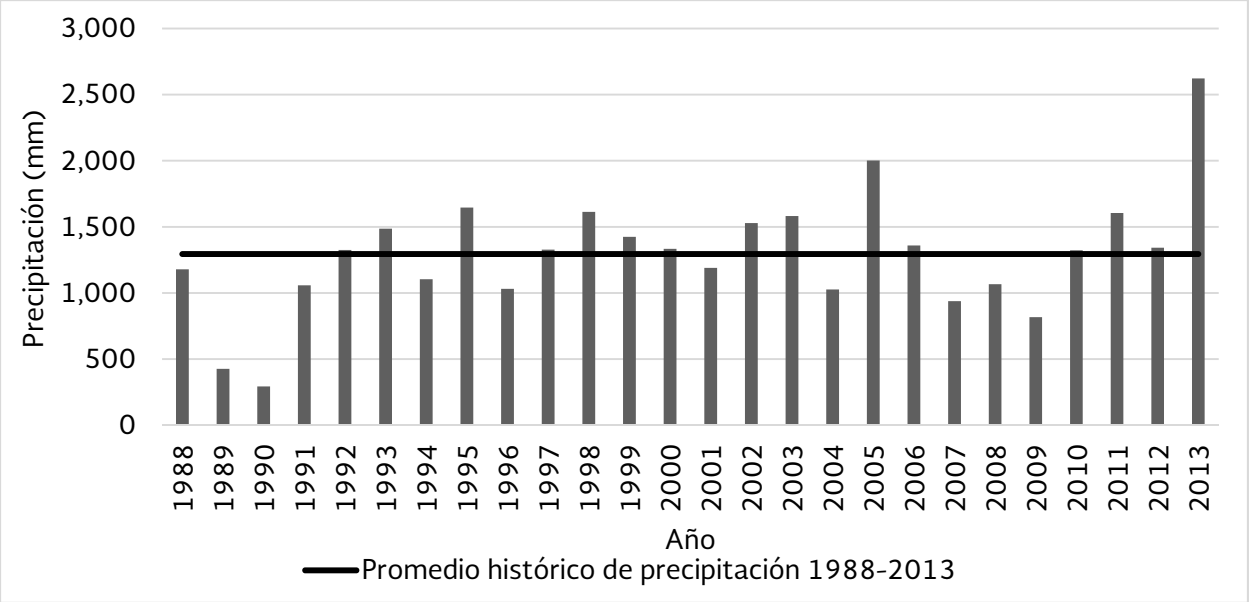


Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por la CONAGUA.

5.3 Precipitación

De 1988 al 2013, el promedio anual de precipitación para Cancún fue de 1294.3 mm, siendo el 2013 el año más lluvioso con una precipitación total anual de 2,622.6 mm y 1990 el menos con 293.9 mm (Figura 5.10). Se observa que de 1988 a 1990 existe una disminución en la precipitación; de 1991 al 2004 hay una estabilidad semejante en los valores de precipitación, y a partir de 2005 hasta 2013 se registran valores un poco más variables.

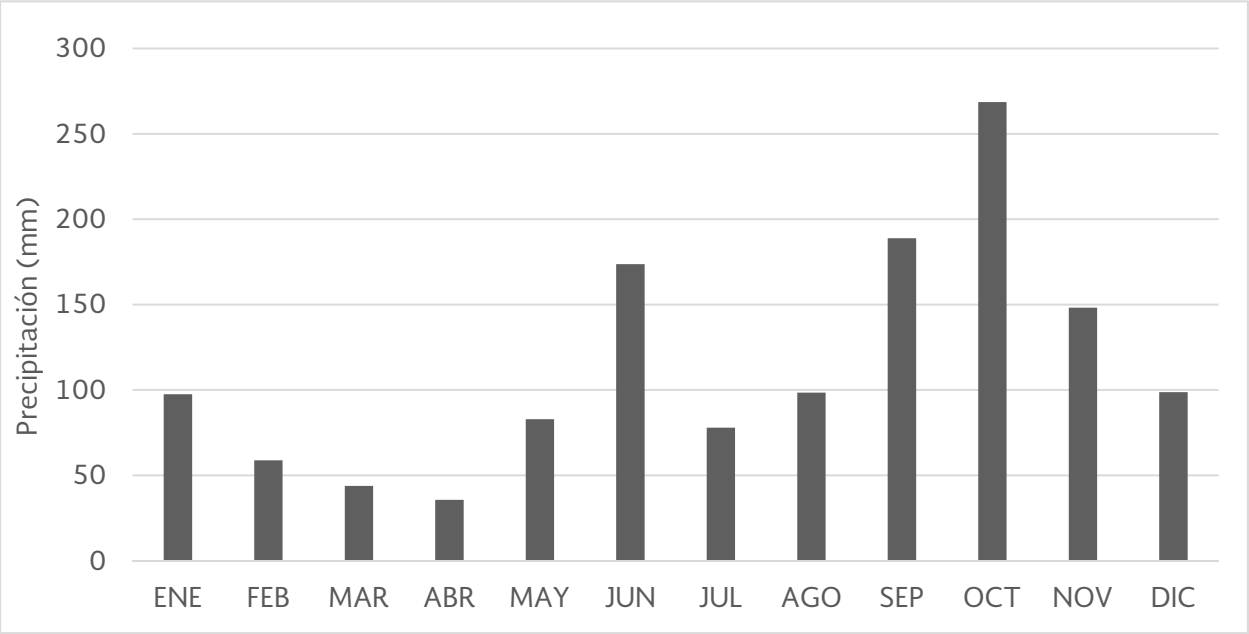
Figura 5.10. Precipitación total anual de Cancún 1988-2013.



Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por la CONAGUA.

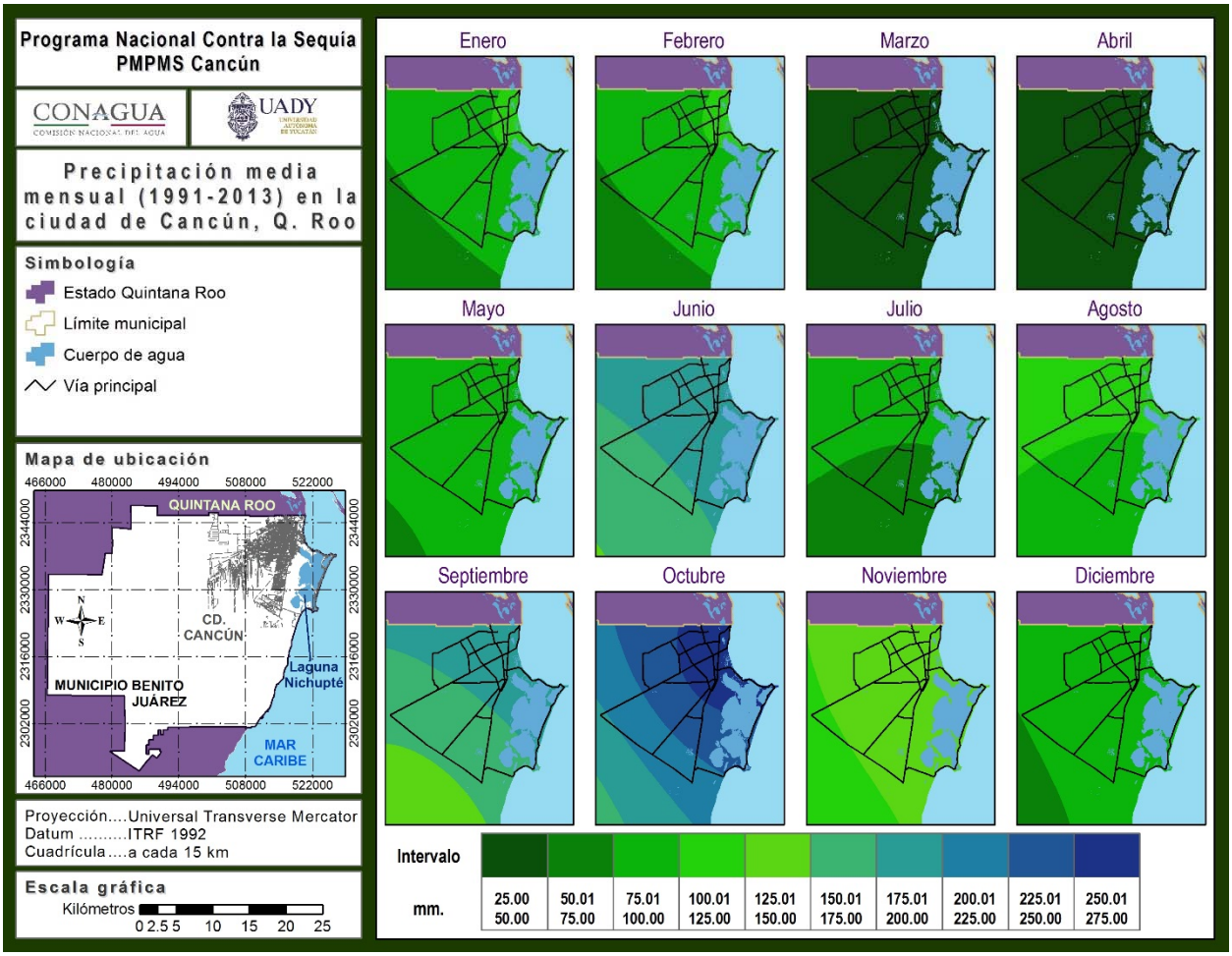
En cuanto a la precipitación mensual se tiene que históricamente (1988-2013) abril es el mes en que menos llueve y octubre cuando frecuentemente se registra mayor precipitación en la ciudad de Cancún. Observando el mapa de precipitación media histórica del periodo 1991-2013, coincide abril como el mes en que se registran valores más bajos de precipitación, pero también se encuentra marzo, así mismo durante junio, septiembre y octubre se registran las precipitaciones medias más abundantes y durante el resto del año se muestran valores medios de precipitación en la ciudad de Cancún. En ocho meses del año llueve 100 mm o menos al mes, y solo en junio, septiembre, octubre y noviembre llueve por encima de los 100 mm en promedio (Figura 5.11 y 5.12).

Figura 5.11. Precipitación mensual promedio histórica de Cancún 1988-2013.



Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por la CONAGUA.

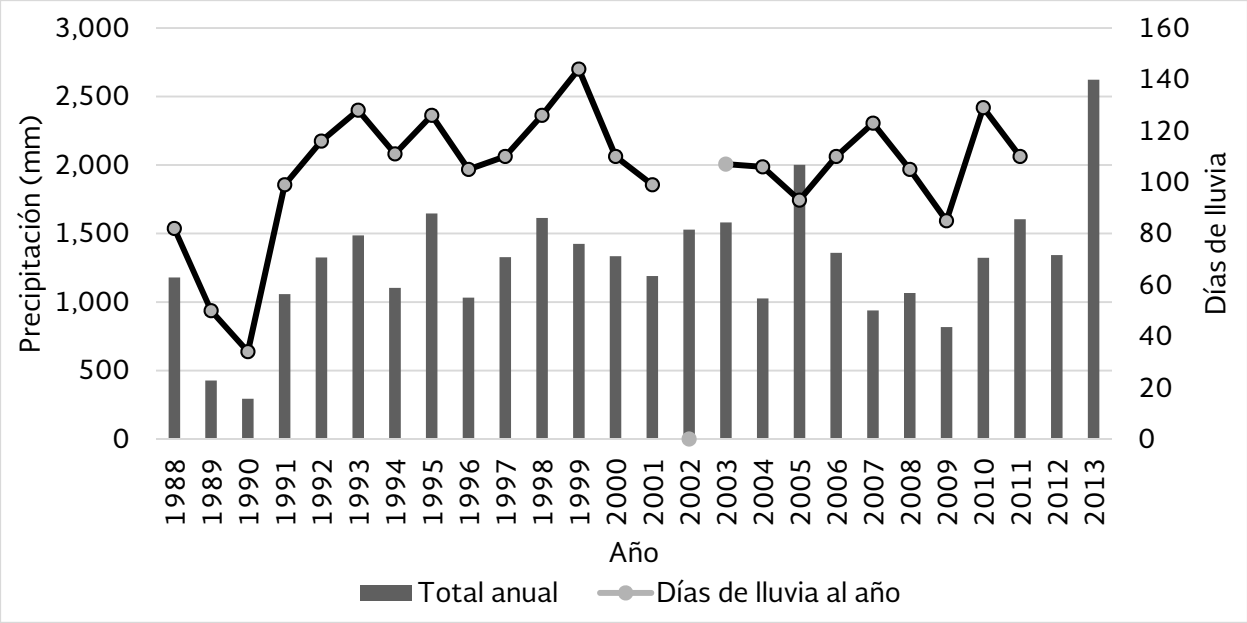
Figura 5.12. Mapas de la precipitación media mensual para la ciudad de Cancún.



Fuente: Elaboración propia. La precipitación se estimó mediante interpolación geoestadística de los datos de las estaciones de Cancún, Central Vallarta, Kantunilkin, Leona Vicario, Solferino, Victoria, Ideal, Playa del Carmen, Cozumel y Chan Cenote, proporcionados por CONAGUA. La información cartográfica se obtuvo de CONABIO (http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/), INEGI (http://www.inegi.gob.mx) y OpenStreetMap (http://www.openstreetmap.org).

Al comparar la precipitación total anual para el periodo 1988-2013 con los días de lluvia por año, destaca el año 2005 en donde se registró la máxima precipitación en el menor número de días (Figura 5.13), evento que se debió a la incidencia del Huracán Wilma que provocó lluvias fuertes en la ciudad de Cancún, con un total de 2001 mm en solo 93 días. En promedio llueven 105 días al año en el puerto de Cancún, con un valor máximo de 144 y mínimo de 34 días de lluvia al año.

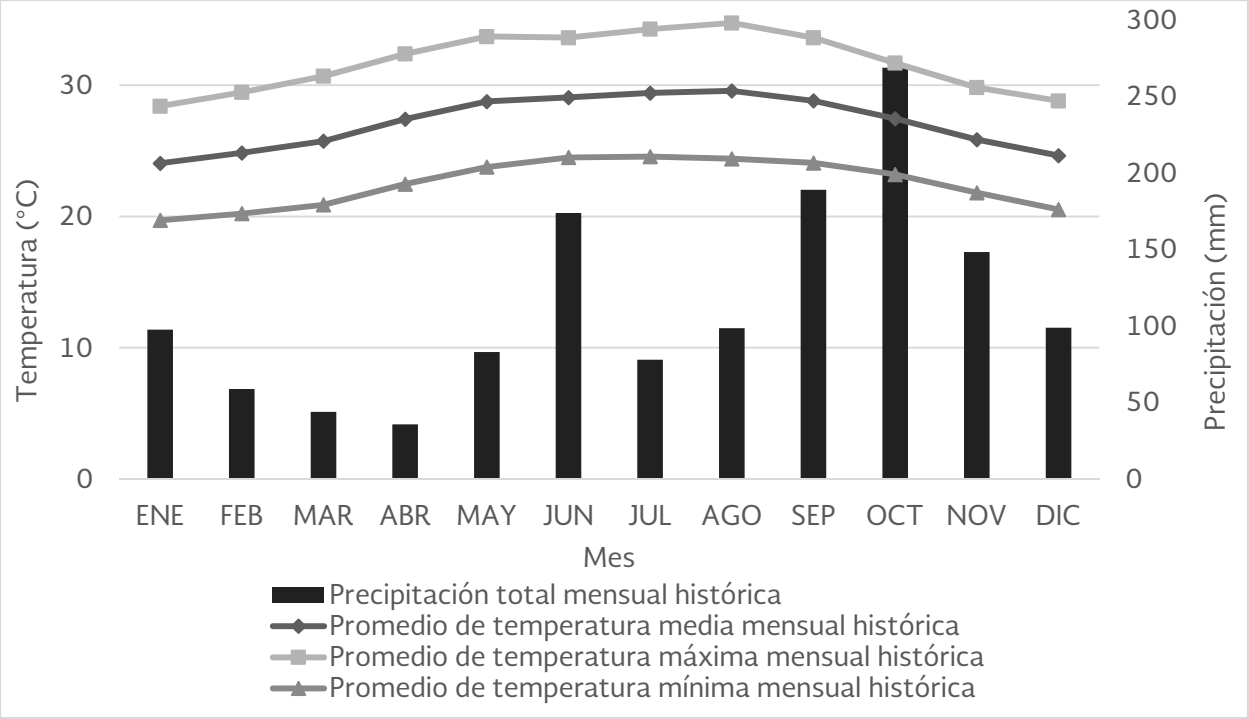
Figura 5.13. Días de lluvia al año y precipitación total en Cancún 1988-2013.



Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por la CONAGUA.

Al analizar el climograma que presenta la precipitación y la temperatura se puede decir que la ciudad de Cancún no presenta meses secos. De acuerdo al índice de Gaussen que expresa que cuando la precipitación es mayor que el doble de la temperatura media, no se considera un mes seco. Para el caso de Cancún, en ningún mes del año los valores de la precipitación se encuentran por debajo del doble de las temperaturas medias, por lo que se deduce que no existe sequía de acuerdo a este índice (Figura 5.14).

Figura 5.14. Climograma de la ciudad de Cancún 1988-2013.



Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por la CONAGUA.

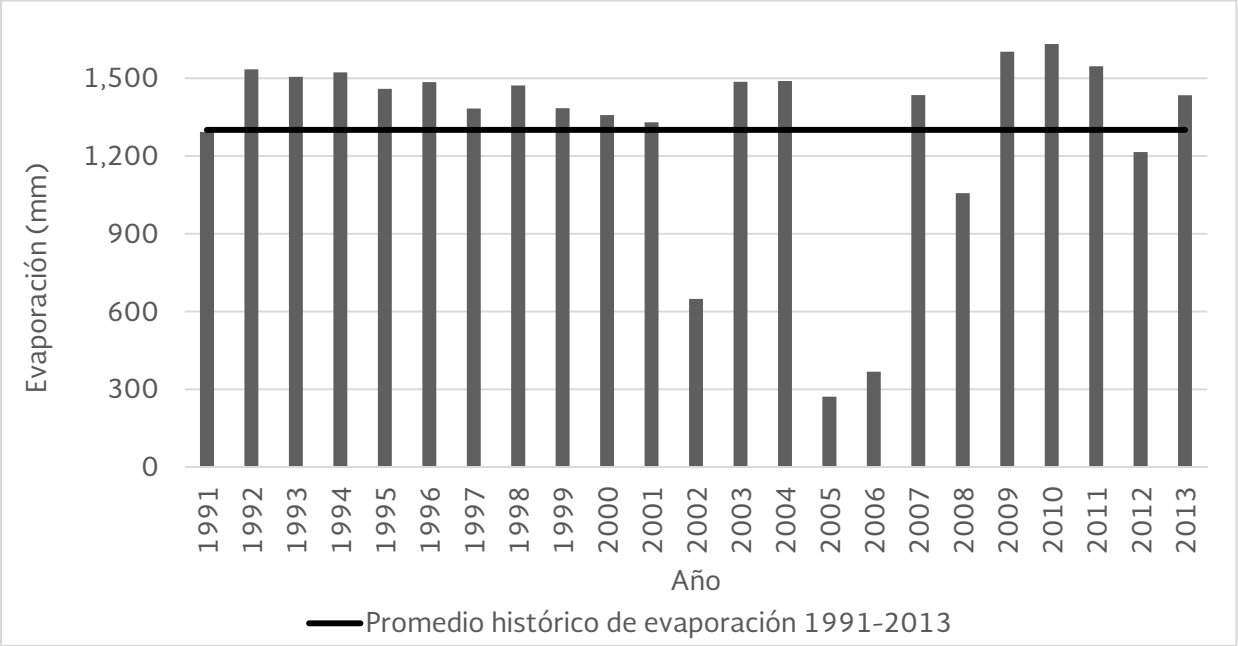
5.4 Evaporación

Los valores de evaporación total históricos fueron registrados a partir del año 1991 para la estación en estudio y presentan un comportamiento homogéneo a lo largo del tiempo. Cabe señalar que en 1991, 2002, 2005 y 2006, 2008, en donde se registran valores bajos de evaporación, no se registraron datos para varios meses, por lo que no se cuenta con información completa en esos años. El promedio histórico de evaporación para los años 1991-2013 es de 1,300.8 mm, con un máximo anual de 1,632.5 mm en 2010 y un mínimo de 271 mm en el 2005 (Figura 5.15).

Según el informe de la Academia Nacional de Investigación y Desarrollo (ANID, 2013), la tendencia futura bajo cualquiera de los dos escenarios futuros analizados (A1B y A2) es la disminución de la precipitación. En el escenario A1B, para el 2020

se prevé una disminución del 14.7%, para 2020 14.1% y finalmente para 2080, 15.4%. En el segundo escenario se perdería el 15%, 19% y 21.9% para los mismos años.

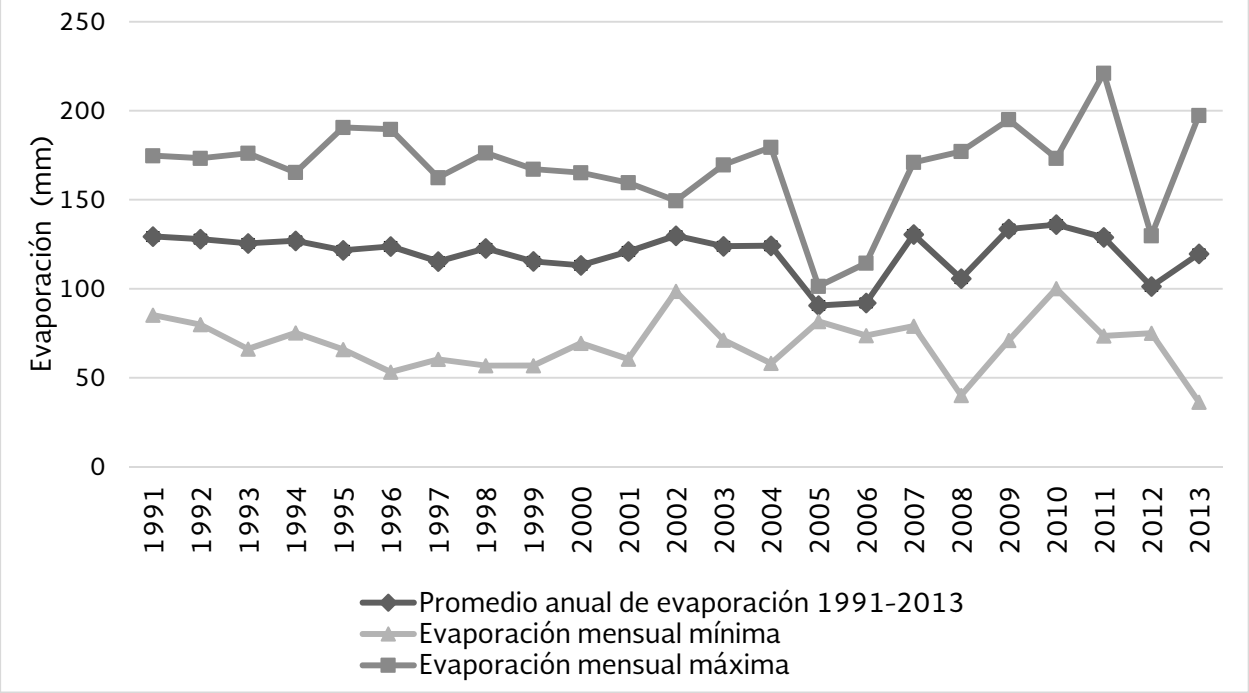
Figura 5.15. Evaporación total anual de Cancún 1991-2013.



Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por la CONAGUA.

Los valores promedio anuales de evaporación oscilan entre un valor máximo de 136 mm registrado en el año 2010 y un valor mínimo de 90.6 mm para el año 2005. La curva de valores mínimos promedios registra una evaporación mínima de 36.6 mm y la curva de máximos un valor máximo de 221.1mm, con una diferencia promedio aproximada de 100 mm entre los valores mínimos y máximos (Figura 5.16).

Figura 5.16. Evaporación anual de Cancún con valores mínimos y máximos 1991-2013.

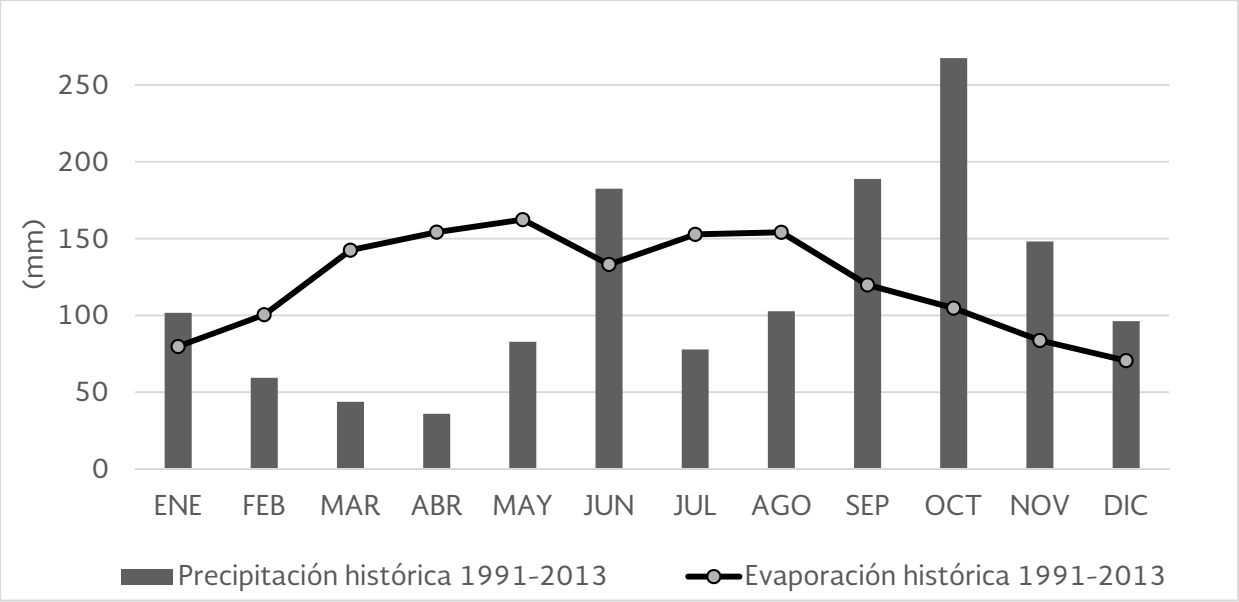


Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por la CONAGUA.

La tendencia de la evaporación muestra un aumento en los meses calurosos, sin embargo registra un pequeño descenso en el mes de junio, mayo es el mes que registra la mayor evaporación con 162.4 mm en promedio, y diciembre es el mes con la menor evaporación con un valor promedio de 70.6 mm (Figura 5.17).

Al comparar los valores de evaporación con la precipitación, se identificó que los meses que registran más lluvia son también los que reportan mayores niveles de evaporación. Sin embargo en meses secos como marzo y abril que registran escaza precipitación, los valores de evaporación son elevados (Figura 5.17).

Figura 5.17. Precipitación y evaporación mensual promedio de Cancún 1991-2013.



Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por la CONAGUA.

5.5 Sequía

5.5.1 Índice de Precipitación Estandarizado (Standarized Precipitation Index *SPI)*

El Índice de Precipitación Estandarizado (SPI) es un valor que se obtiene a partir del análisis de los registros históricos de precipitación y sirve para determinar la severidad y temporalidad de una sequía. El SPI es un índice de normalización de la precipitación histórica que permite identificar condiciones de déficit y exceso de precipitación a corto y largo plazo.

Se calcula a partir de la suposición de que la precipitación se ajusta a una distribución probabilística tipo Gamma, por lo que al utilizar estos índices para ajustarlos a una distribución de probabilidad normal se le nombra como estandarización o normalización de la precipitación.

Los valores son representativos de la variabilidad de la precipitación con respecto a su historial, en donde los valores negativos indican déficit y los positivos superávit. A partir de estos valores se elaboran mapas que muestran patrones espaciales de 1, 3, 6, 9, 12 y 24 meses, en donde las características para períodos largos o cortos se clasifica como:

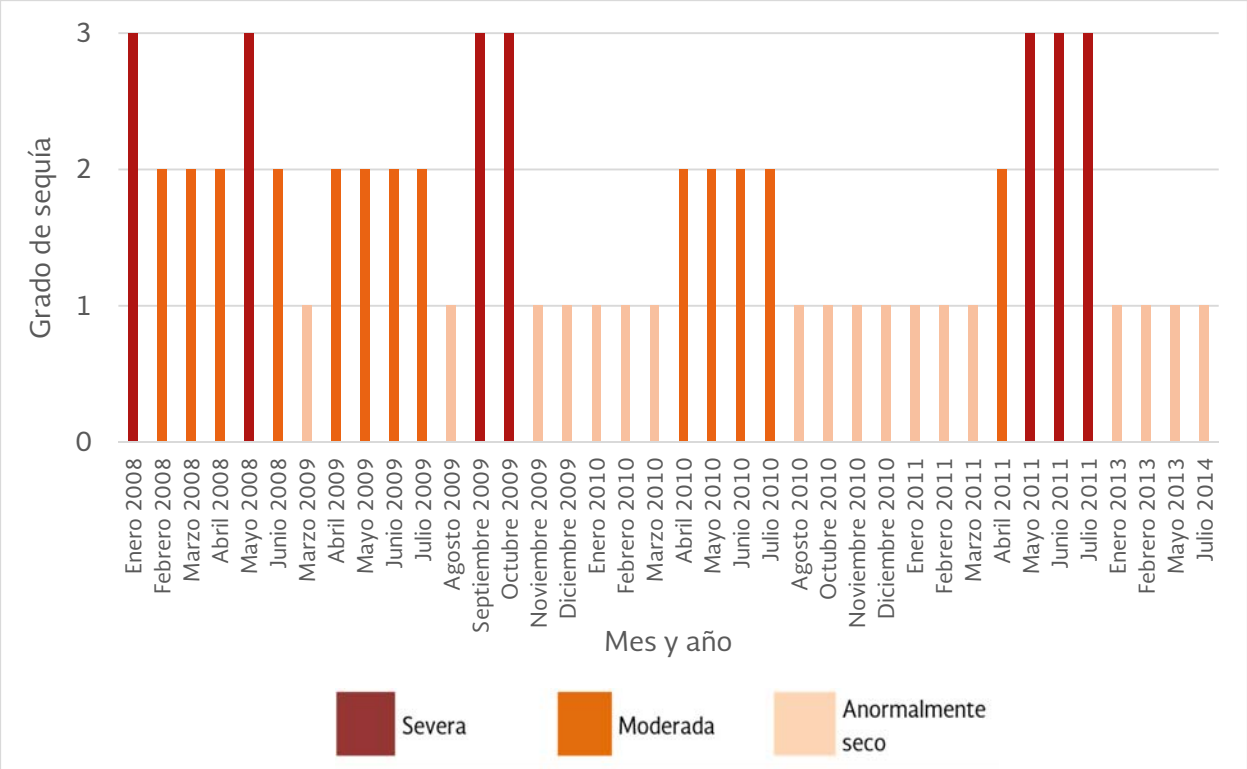
- 1 mes. Indica las condiciones de humedad del suelo.
- 3 meses. Una estimación de la precipitación estacional.
- 6/9/12/24 meses. Los impactos en los niveles de reserva de agua.

En el caso de la ciudad de Cancún, este índice se presenta de manera gráfica para aquellas fechas en que se registró algún nivel de sequía de acuerdo a la clasificación antes mencionada de los tipos de sequía. Cada mapa representa el valor máximo de sequía registrado en algún día de los meses y el año señalado, cabe aclarar que solamente se registraron los tres primeros niveles de categorización de la sequía, estando ausentes por completo la sequía extrema y la excepcional.

Para la ciudad de Cancún se reportan 38 meses para el periodo 2008-2014, con presencia de sequía, en 20 meses el clima fue anormalmente seco, en 10 existió una sequía moderada y solamente en 8 se reportó una sequía severa. Los siete primeros meses del año son los que más se ven afectados por la sequía, generalmente el mes de mayo es el que presenta de manera más frecuente sequía.

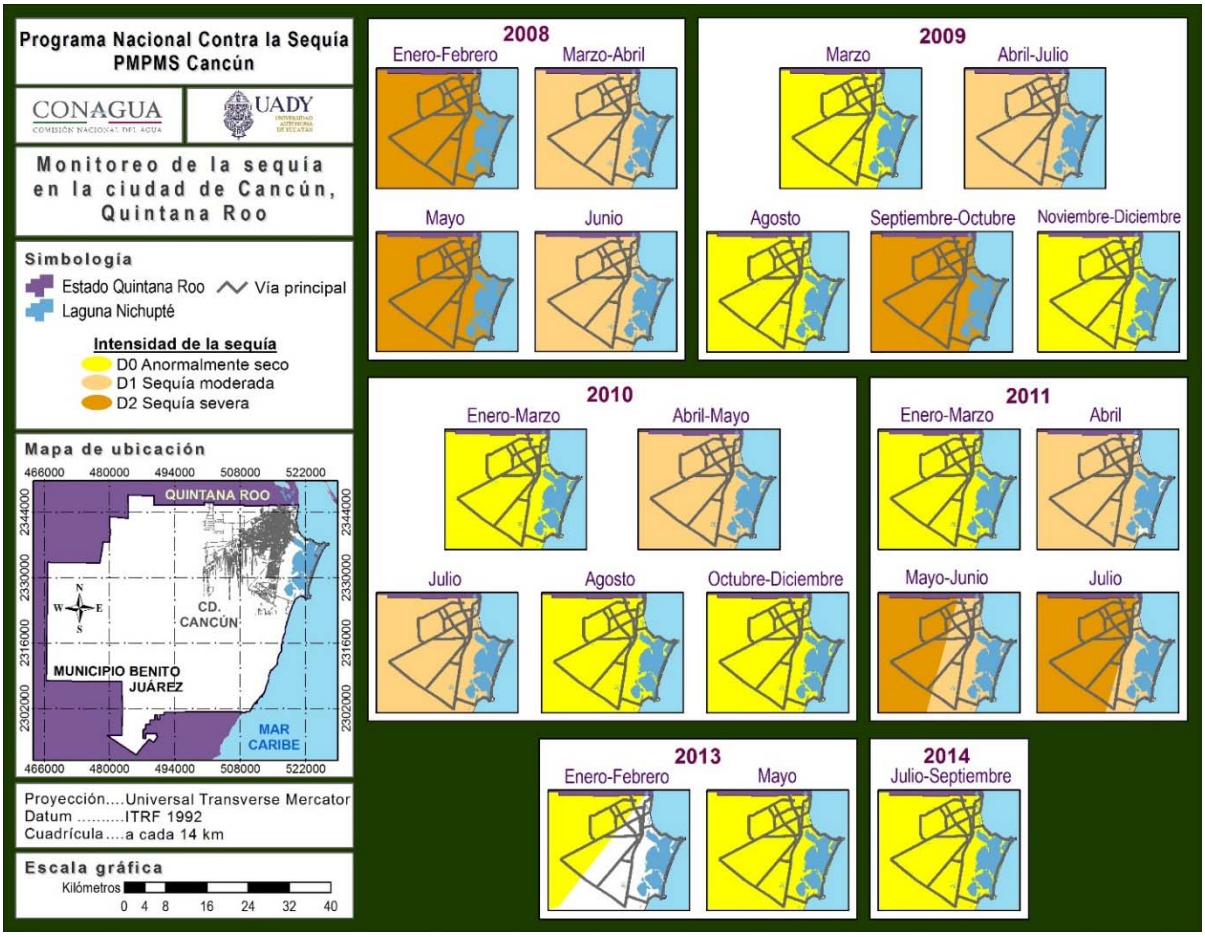
Los años 2008, 2009 y 2011 presentaron los mayores niveles llegando a una sequía severa en algunos meses (Figuras 5.18 y 5.19).

Figura 5.18. Grado máximo de sequía mensual en Cancún (2008-2014).



Fuente: Elaboración propia con datos de PRONACOSE, 2014.

Figura 5.19. Mapas de sequía meteorológica de acuerdo con el Índice de Precipitación Estandarizado para la ciudad de Cancún (2008-2014).



Fuente: Elaboración propia con datos de PRONACOSE, 2014.

5.6 Índice de Sequía por Escurrimiento (Streamflow Drought Index SDI)

La sequía hidrológica se define como la deficiencia en la disponibilidad de agua superficial y subterránea; se mide a través de los escurrimientos y los niveles de lagos, embalses y niveles de los acuíferos. Existe una relación entre la falta de lluvia y la reducción de agua en ríos, lagos y embalses, cuando la precipitación es reducida o deficiente durante un período prolongado de tiempo, esta escasez se refleja en la disminución de los niveles de agua en embalses y los niveles de las aguas subterráneas.

El Índice de Sequía por Escurrimiento o Índice Hidrológico de Sequía (SDI) es un valor que resulta de analizar los registros de escurrimiento o caudal en ríos y también sirve, como el SPI, para calcular la severidad y temporalidad de una sequía.

En la ciudad de Cancún no existen ríos o embalses que contribuyan al escurrimiento, el agua proveniente de la precipitación se filtra al subsuelo y prácticamente no escurre debido a las características geológicas y el relieve de la ciudad, por lo que no se cuenta con datos del SDI para esta zona.

5.6 Caracterización del clima

El clima de la ciudad de Cancún se caracteriza por ser cálido con temperaturas elevadas, su temperatura media de 27.1°C es comprable con la de otras ciudades costeras de la Península, como Campeche. La temperatura máxima promedio es de 31.7°C y la máxima absoluta es 41.5°C; el valor de la temperatura mínima promedio es de 22.5°C, siendo la temperatura más fría registrada en Cancún de 9.5°C.

Los meses mas calurosos son de mayo a septiembre, los cuales reportan niveles medios de precipitación. Es a final del año que llueve de manera más intensa y se registran valores de temperaturas que se encuentran por debajo del promedio, los meses más frios son los dos primeros del año.

Cancún presenta lluvias constantes a lo largo del año que le confieren la característica de clima subhúmedo de acuerdo a la clasificación de Köppen, el índice de Lang también sitúa a esta ciudad con un clima húmedo y muy húmedo según sus características de precipitación y temperatura. El valor promedio de precipitación de Cancún es de casi 1,300 mm y en promedio llueven 104 días al año,

Por su ubicación en el litoral y la baja altitud de la ciudad, su oscilación térmica es reducida, comparada con otras ciudades al interior del territorio que registran una mayor diferencia entre las temperaturas mínimas y máximas.

En general, la ciudad de Cancún presenta una escaza variación climática a lo largo del año, por tanto es difícil encontrar diferencias marcadas con claridad entre las cuatro estaciones del año. La mayor diferencia entre temporadas se nota en la época de lluvias, las cuales son más abundantes en la segunda mitad del año. La época de nortes abarca los meses de noviembre a abril que es cuando se registran las temperaturas más bajas del año.

Existe una temporada de lluvias de junio a noviembre, pero es de septiembre a noviembre cuando se reportan niveles mayores de precipitación mensual.

De junio a noviembre es la temporada de huracanes en el océano Atlántico, y esta situación puede afectar la presencia de precipitaciones en la ciudad de Cancún, aunque históricamente sólo dos fenómenos han pasado por esta zona turística.

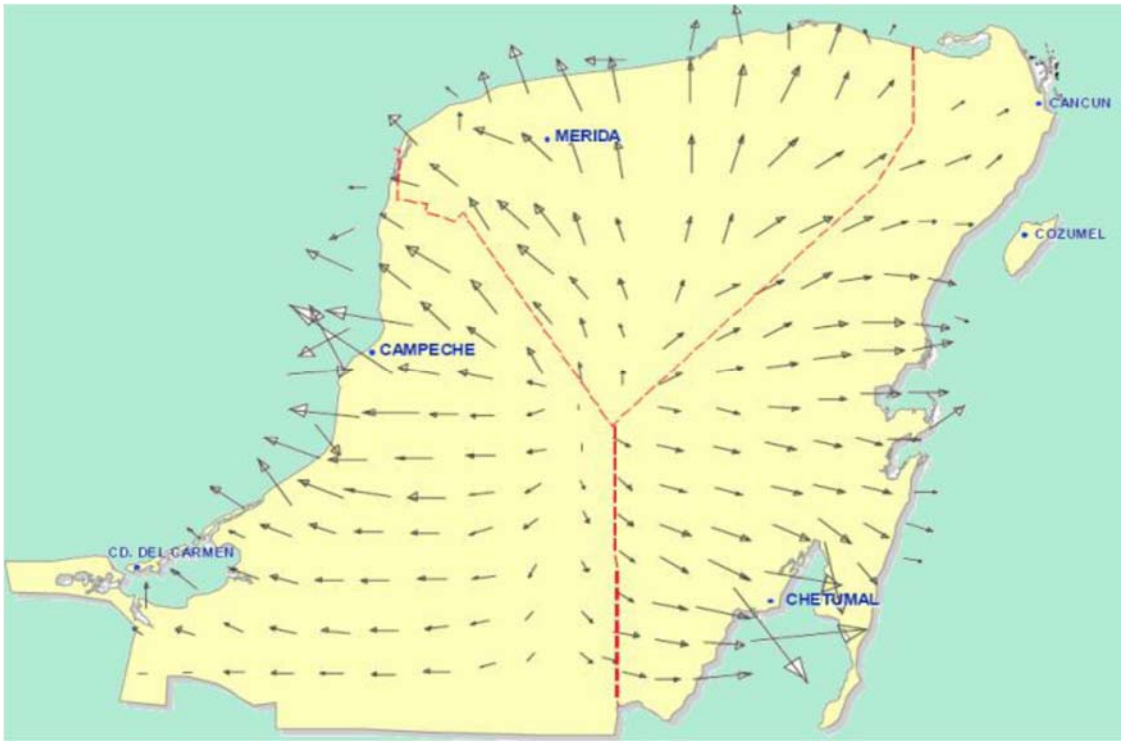
La ubicación de Cancún a orillas del mar y con la presencia de una laguna costera le confiere altos niveles de evaporación y por tanto de humedad. La evaporación es marcada en dos temporadas, para los meses más cálidos de marzo a mayo y cuando llega la época de lluvias de julio a octubre.

CAPÍTULO 6. EVALUACIÓN DE LA OFERTA/ABASTO DE AGUA

6.1 Fuentes de abasto

Para la ciudad de Cancún, la fuente principal de abasto de agua potable consiste en el agua subterránea que está constituida por un cuerpo delgado de agua dulce de menos de 70 m de espesor al interior de la ciudad y de escasos metros en la costa que flota sobre un cuerpo de agua salina (Velázquez, 1986). La descarga natural del agua subterránea se realiza a través de manantiales a lo largo de la costa oriental, y en forma difusa en la costa norte y hacia la costa occidental (Granel *et al*., 2002) (Figura 6.1).

Figura 6.1. Direcciones de flujo del agua subterránea en la Península de Yucatán.



Fuente: Villasuso y Méndez, 2000.

Se puede decir que la dirección del flujo y los niveles de agua del acuífero se han mantenido sin cambios debido a que el volumen extraído es mínimo comparado con la recarga, y también a que los efectos del bombeo se propagan rápidamente (Lesser, 1992).

De acuerdo con las Estadísticas del Agua publicado por CONAGUA en 2013a, en la Península se extraen aproximadamente 3,353 hm^3/año. Para el año 2010 se extrajeron para el abastecimiento público 589.5 hm^3/año, para los usos agropecuarios 1,728.8 hm^3/año, y para usos industriales 516.5 hm^3/año. Sobre la distribución por estado, Yucatán extrae un 46 % del volumen total, seguido por Campeche con 28 %, y el estado de Quintana Roo con el 26 % (CONAGUA, 2012b; CONAGUA, 2013a).

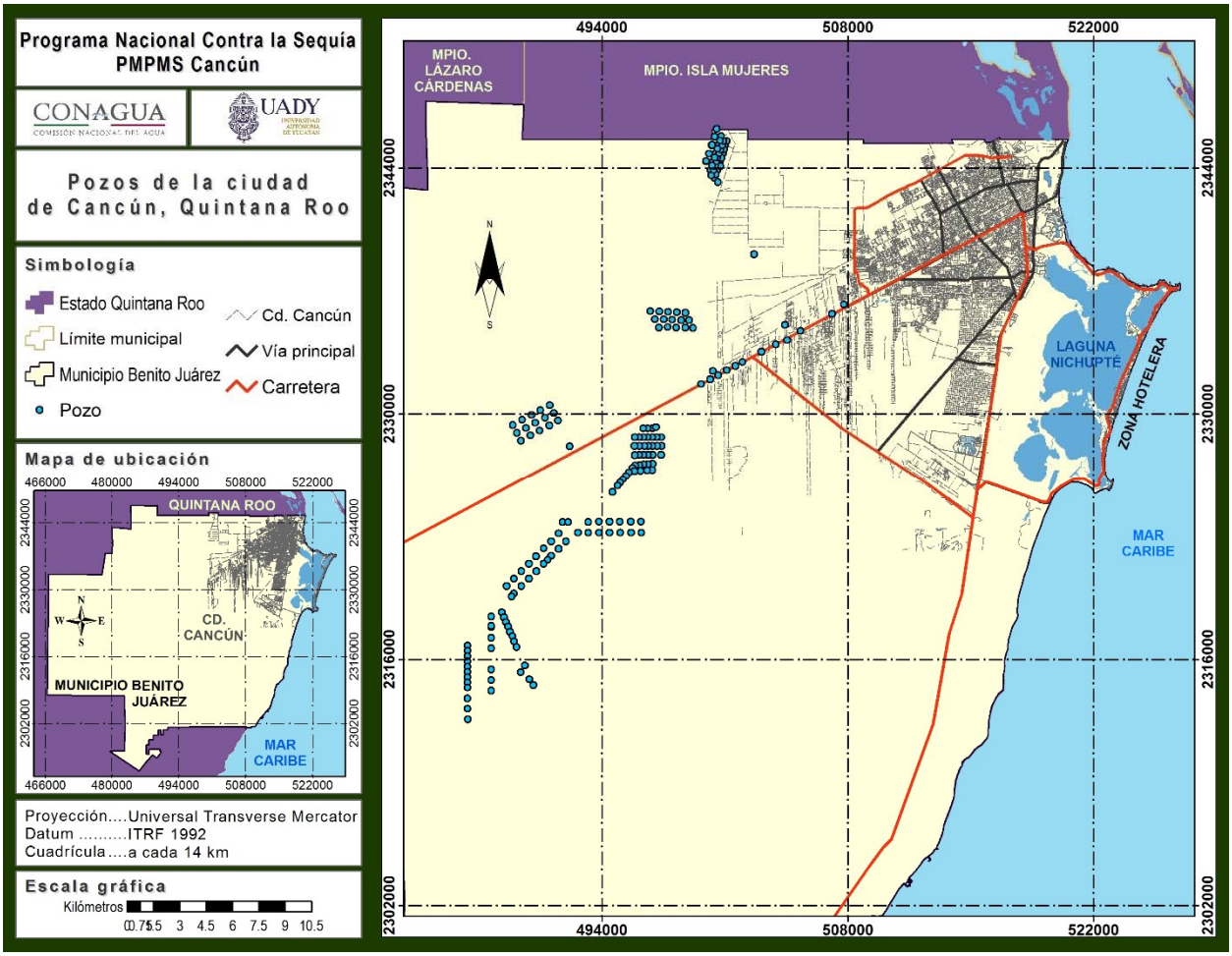
Para la ciudad de Cancún, la empresa DHC-AGUAKAN cuenta con una concesión anual de agua subterránea de 101,892,719 m^3, particularmente para la ciudad de Cancún existen cinco zonas de captación con 185 pozos y 10 plantas de tratamiento aguas residuales (Tabla 6.1, figuras 6.2 y 6.3). De estos pozos, 22 se abrieron del 2005 al 2009, incrementando el caudal producido en 338 l/s en la ciudad de Cancún.

Tabla 6.1. Fuentes de abastecimiento de agua para la ciudad de Cancún para 2013.

Fuentes	**Actuales**	**De reserva**	**Posibles o de emergencia**
Subterráneas: -Pozos	5 zonas de captación con 167 pozos	18	18
Usuarios autoabastecidos (derecho de pozos)	324 derechos de pozos	0	0

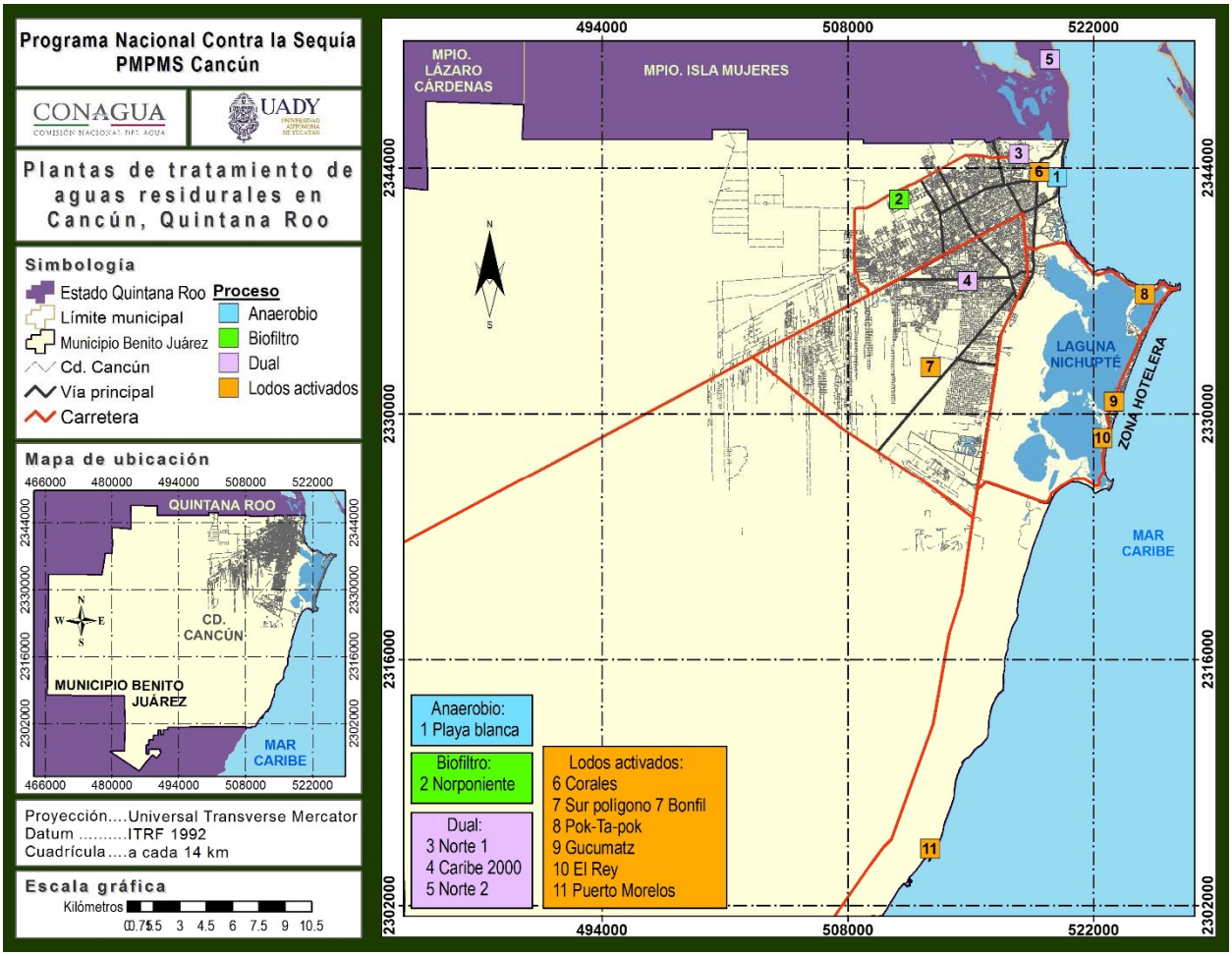
Fuente: Información proporcionada por la empresa AGUAKAN y CONAGUA.

Figura 6.2. Ubicación de los pozos de extracción de agua en la ciudad de Cancún.



Fuente: Elaboración propia. La información cartográfica se obtuvo de CONABIO (http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/), INEGI (http://www.inegi.gob.mx) y OpenStreetMap (http://www.openstreetmap.org). Los Pozos se ubicaron proyectando las coordenadas proporcionadas por el Registro Público de Derecho de Agua (REPDA) disponible para su consulta en línea: http://www.conagua.gob.mx/Contenido.aspx?n1=5&n2=37&n3=37.

Figura 6.3. Ubicación de las plantas de tratamiento de aguas residuales en la ciudad de Cancún.



Fuente: Elaboración propia con información proporcionada por la empresa AGUAKAN. La información cartográfica se obtuvo de CONABIO (http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/), INEGI (http://www.inegi.gob.mx) y OpenStreetMap (http://www.openstreetmap.org).

6.2 Inventario y evaluación de la infraestructura disponible

La infraestructura con que cuenta la empresa AGUAKAN para garantizar el abasto y distribución del agua potable en el municipio de Benito Juárez se compone de infraestructura de almacenamiento, de distribución, de drenaje, recolección, tratamiento y reúso de aguas residuales (DHC-AGUAKAN, 2014).

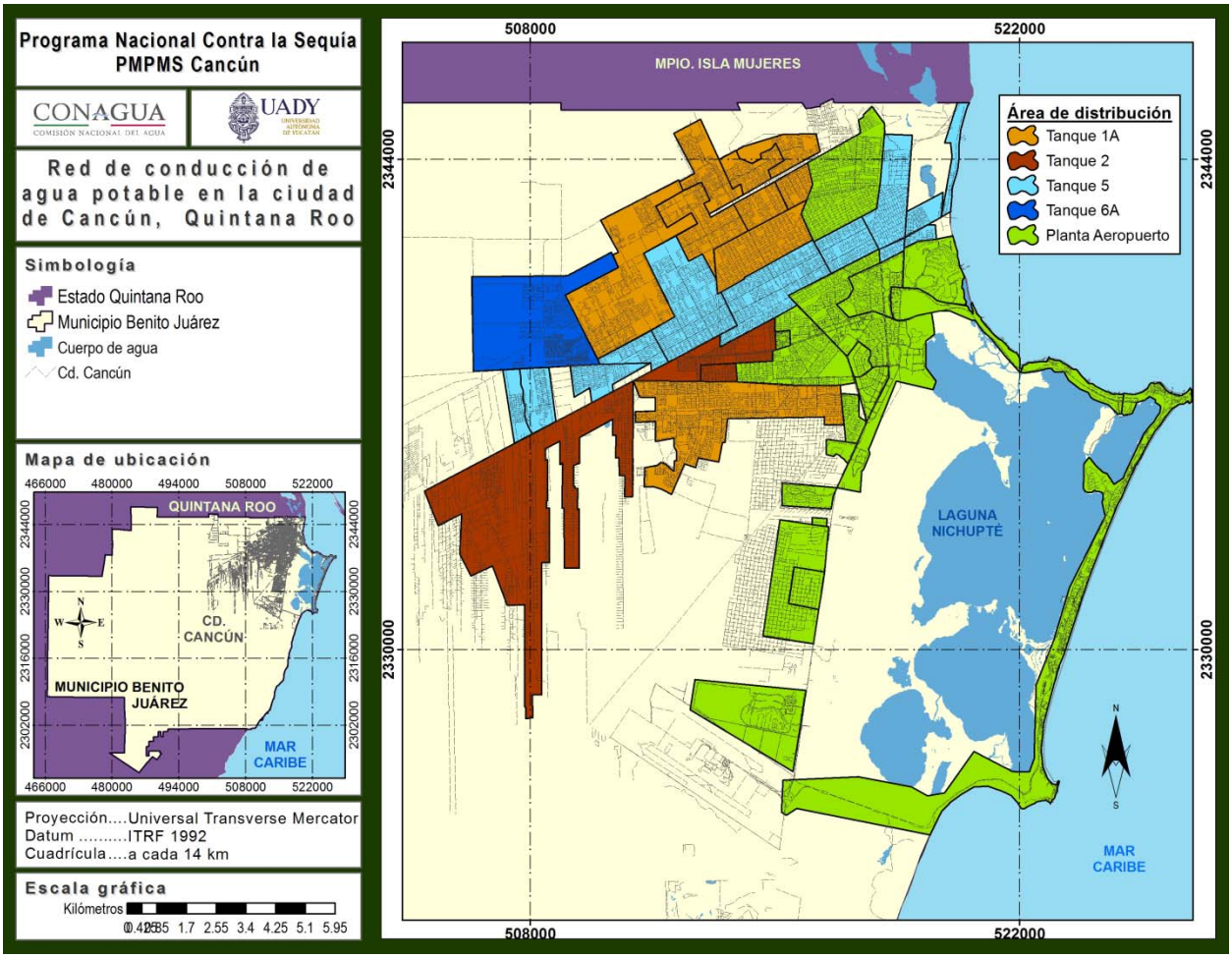
El agua que abastece a la ciudad de Cancún es transportada desde una batería de pozos localizada al poniente de la ciudad por acueductos ubicados a un costado de la carretera Cancún – Mérida, la Avenida José López Portillo, el Boulevard Luis Donaldo Colosio y el Boulevard Kukulkán.

6.2.1 Infraestructura de almacenamiento

Como parte de la infraestructura de almacenamiento, a diciembre de 2013 la empresa AGUAKAN contaba con 48 cárcamos o tanques de agua potable distribuidos en la ciudad (Figuras 6.4 y 6.5).

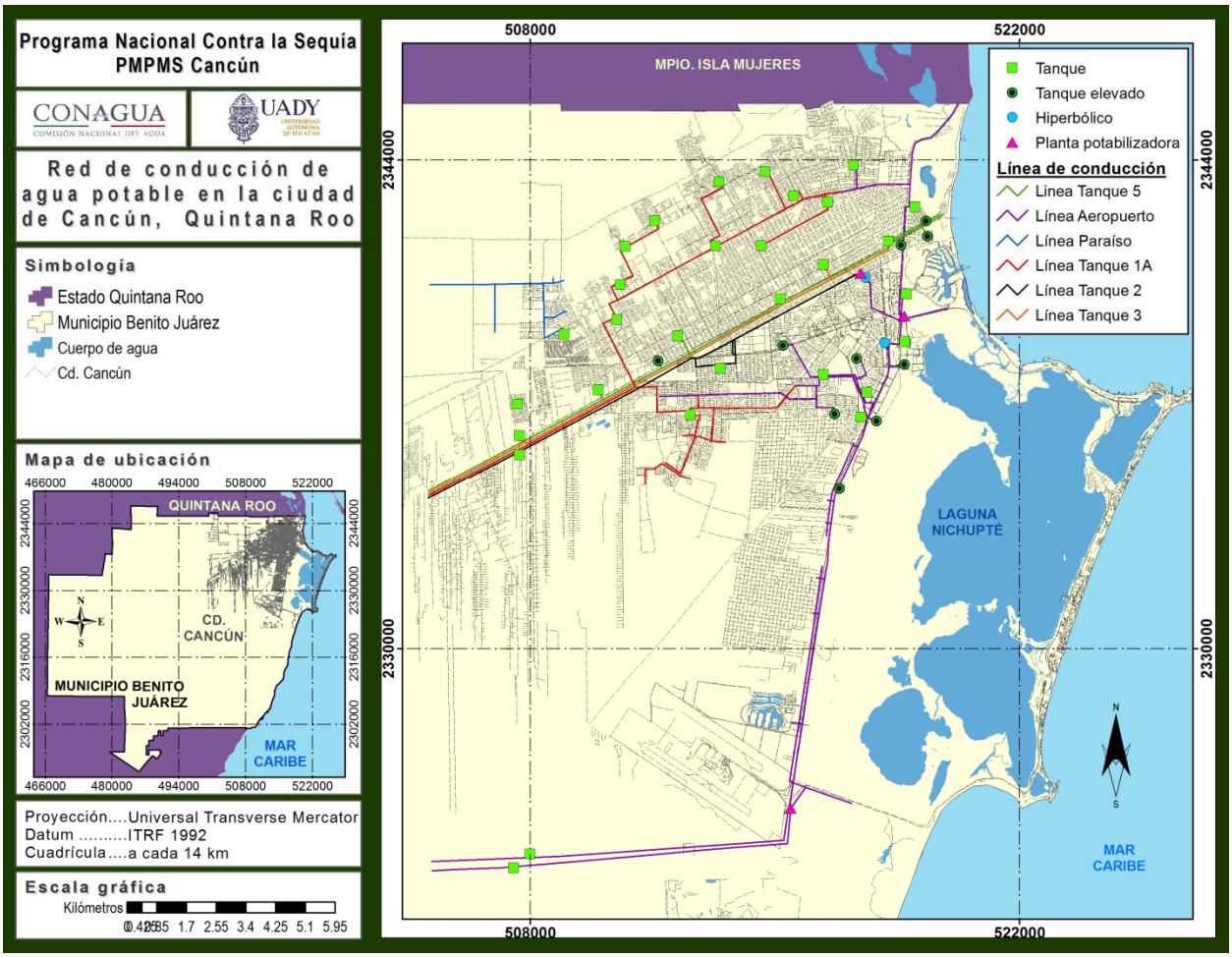
Aunque la ciudad de Cancún no cuenta con tanques exclusivos de almacenamiento, se estima que estos cárcamos pueden almacenar agua para satisfacer el abasto de la población durante 2 días y medio aproximadamente.

Figura 6.4. Zonas de influencia de la red de conducción de agua potable en la ciudad de Cancún.



Fuente: Elaboración propia con información proporcionada por la empresa AGUAKAN. La información cartográfica se obtuvo de CONABIO (http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/), INEGI (http://www.inegi.gob.mx) y OpenStreetMap (http://www.openstreetmap.org).

Figura 6.5. Ubicación de las líneas de conducción y los tanques o cárcamos de rebombeo en la ciudad de Cancún.



Fuente: Elaboración propia con información proporcionada por la empresa AGUAKAN. La información cartográfica se obtuvo de CONABIO (http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/), INEGI (http://www.inegi.gob.mx) y OpenStreetMap (http://www.openstreetmap.org).

6.2.2 Infraestructura de distribución

Actualmente existen en Cancún 2,337 km de tuberías exclusivas para abastecer a la ciudad, en donde el 70% se encuentra en buen estado y funcionando correctamente (Tabla 6.2). Los diámetros del sistema primario de distribución de tuberías miden entre 10 y 20 pulgadas de diámetro, mientras que las secundarias

alcanzan entre 3 y 8 pulgadas. Adicionalmente existen tuberías mayores para el transporte del agua que tiene diámetros por arriba de las 20 pulgadas.

Aproximadamente un 30% de las tuberías son antiguas y se encuentran en un estado que requiere mantenimiento y renovación en algunas zonas de la ciudad (Tabla 6.2 y figura 6.6). El mal estado de algunas tuberías provoca pérdidas en la red.

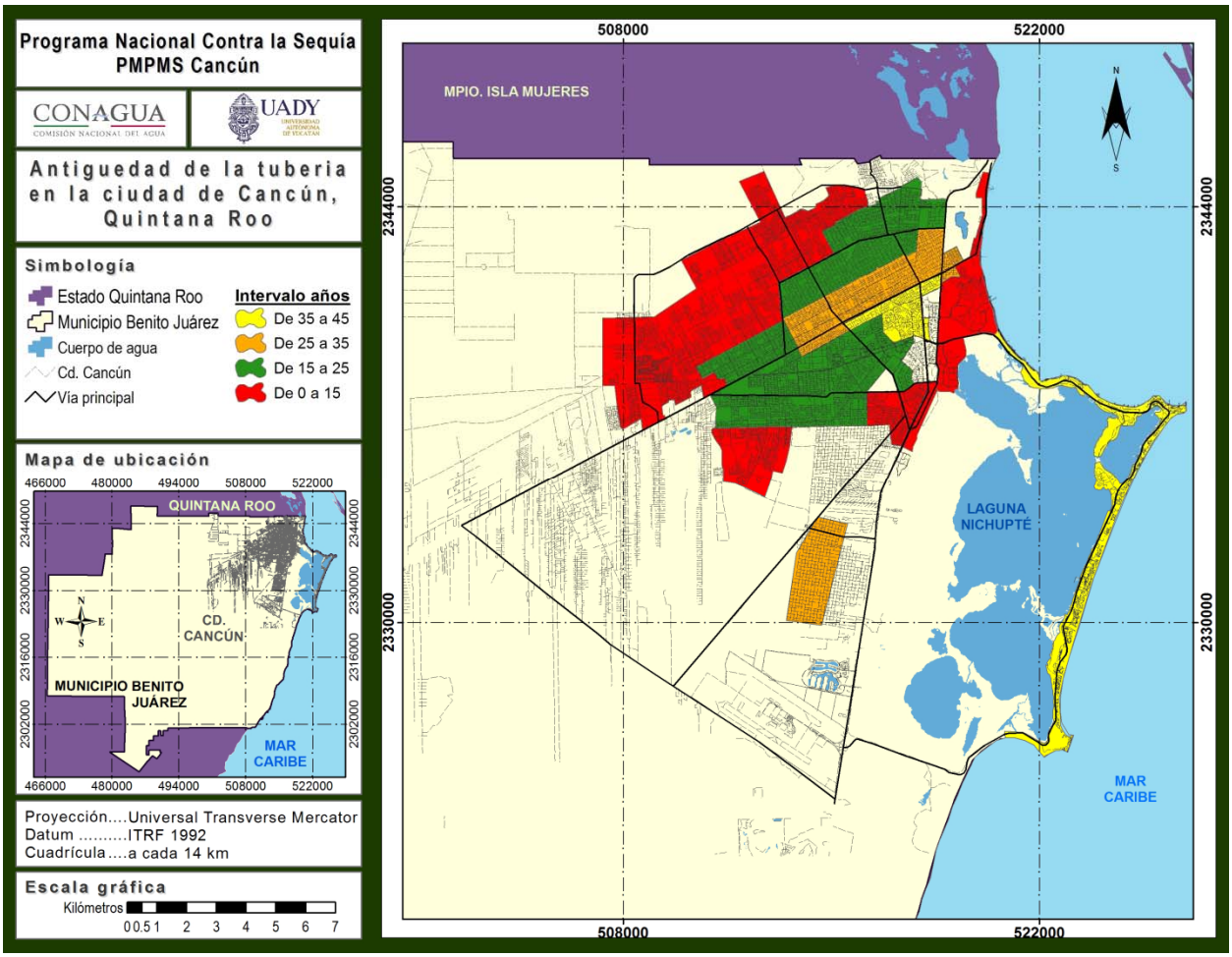
Por lo que entre las actividades que pueden mejorar la eficiencia física se encuentra el mantenimiento y modernización de las tuberías más antiguas de la ciudad para reducir las pérdidas.

Tabla 6.2. Estado de conservación de la red de tuberías de la ciudad de Cancún.

Porcentaje de tuberías (%)	Años de antigüedad	Material con el que están hechas	Problemas que presenta
10	35 y 45	Polietileno de alta densidad	Presenta problemas de fugas repetitivas por fallas estructurales y defectos de instalación. Al momento de la instalación, los controles de calidad de las resinas empleadas para fabricación de estas tuberías eran deficientes, por tanto el producto también. Al realizar las reparaciones se evidencian fallas en los procesos de termofusión en los empalmes y en las silletas hacia las tomas domiciliarias.
20	25 y 35	Principalmente polietileno de alta densidad	Presenta problemas de incremento gradual de incidencia de fugas por deterioro del material de fabricación. Al momento de la instalación, los controles de calidad de las resinas empleadas para fabricación de estas tuberías eran deficientes, por tanto el producto también. Al realizar las reparaciones se evidencian fallas en los procesos de termofusión en los empalmes y en las silletas hacia las tomas domiciliarias.
70	Menores de 25	PVC y Asbesto Cemento	Estas tuberías trabajan sin problemas y tienen una vida útil de entre 25 y 50 años.

Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por la empresa AGUAKAN.

Figura 6.6. Antigüedad de la tubería de agua potable para el municipio de Benito Juárez.



Fuente: Elaboración propia. Los polígonos que muestran la antigüedad se digitalizaron de mapas proporcionados por AGUAKAN. La información cartográfica se obtuvo de CONABIO (http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/), INEGI (http://www.inegi.gob.mx) y OpenStreetMap (http://www.openstreetmap.org).

6.2.3 Infraestructura de drenaje, recolección, tratamiento y reúso de aguas residuales

6.2.3.1 Drenaje

En el municipio de Benito Juárez 176,455 de 188,522 hogares cuentan con servicio de drenaje y 157 mil 644 hogares cuentan con agua entubada (Plan Quintana Roo,

2011). Para la ciudad de Cancún, la cobertura de alcantarillado es del 100% (Tabla 6.3), situación que contrasta con el déficit de infraestructura de alcantarillado para otras ciudades de la península como Mérida, Campeche y Chetumal (CCA, 2011).

La cobertura del servicio de alcantarillado ha aumentado del 85% al 100% en 5 años, para 2010 en la ciudad de Cancún ya cubría al 100% de la población (Tabla 6.3).

Tabla 6.3. Evolución de la cobertura de alcantarillado de la ciudad de Cancún.

	2005	**2006**	**2007**	**2009**	**2010**	**2013**
Habitantes	465,643	455 718	506,942	565,535	628,306	698,938
Porcentaje (%)	85	85	84	88	100	100

Fuente: CONAGUA 2005; 2006b; 2007b; 2010b; CCA, 2011; CONAPO, 2010b; DHC-AGUAKAN, 2013.

6.2.3.2 Recolección

Así mismo, la infraestructura para recolectar y tratar las aguas residuales constaba en 2013 de 1,487 km de alcantarillas o drenaje sanitario y 60 cárcamos de aguas negras en la ciudad de Cancún para enviar las aguas negras a las plantas de tratamiento.

6.2.3.3 Tratamiento y reúso de aguas residuales

A continuación se definen los diferentes tipos de tratamiento a los que son sujetas las aguas residuales para su reutilización:

- Tratamiento primario para reducir aceites, grasas, arenas y sólidos gruesos.

- Tratamiento secundario que degrada el contenido biológico usando procesos biológicos aeróbicos y donde se retiran los flóculos biológicos.
- Desinfección para eliminar los organismos vivos (bacterias patógenas).
- Tratamiento de lodos. Con los residuos finales del tratamiento se reduce la cantidad de materia orgánica y los microrganismos.
- Disposición final. El agua tratada se regresa al medio ambiente mediante pozos que la inyectan a más de 100 m de profundidad.

Para el año 2013, la ciudad de Cancún contaba con 10 plantas de tratamiento en funcionamiento, 7 bajo responsabilidad de la concesionaria AGUAKAN y 3 a cargo de FONATUR. La capacidad instalada de todas las plantas sin considerar Villas Morelos I y II para el año 2012 era de 1,410 l/s y un caudal tratado de 1,151 l/s (CONAGUA, 2012; AGUAKAN, 2014) (Tablas 6.4 y 6.5).

Tabla 6.4. Plantas de tratamiento de aguas residuales en Cancún al 2012.

Nombre de la planta	Proceso	Capacidad instalada (l/s)	Caudal tratado (l/s)	Estado	Observaciones
Caribe 2000	Dual fisicoquímico (TPA)+ Biológicos (lodos activados).	225	192.22	Requiere modernización	Se amplió en 2004
Corales	Biológico + fisicoquímico (lodos activados + coprecipitación)	50	22.5	Opera deficientemente	En proceso de clausura
El Rey*	Lodos activados	100	70	En funcionamiento	Riego de campos de golf
Gucumatz*	Lodos activados	200	150	En funcionamiento	Riego de campos de golf
Pok-Ta-Pok*	Lodos activados	245	200	En funcionamiento	Riego de campos de golf
Isla azul	Lodos activados (aireación extendida)	5	3.09	Bueno	Riego de áreas verdes
Norponiente	Filtros biológicos	225	136	Requiere ampliación	Inicio operaciones en 2005
Norte	Dual biológico (biofiltro + lodos activados)	350	374	Bueno	Inicio operaciones en 2000
Villas Morelos	Biológico (Lodos activados batch)	ND	ND	ND	Buen estado
Villas Morelos II	Biológico (Lodos activados batch)	ND	ND	ND	Buen estado
Total		1,410	1,151		

* Operada por FONATUR. Fuente: CONAGUA, 2012c e información proporcionada por AGUAKAN. ND: No determinado.

Tabla 6.5. Capacidad histórica del servicio de tratamiento de aguas residuales de Cancún 2005-2013.

Indicador	2005	2006	2007	2009	2010	2011	2012	2013
Número de plantas de tratamiento	8	8	9	10	10	10	10	10
Capacidad instalada (l/s)	1,372	1,372	1,379	1,386	1,386	1,414	1,412	ND
Caudal tratado (l/s)	1,094	1,097	1,099	1,102	1,102	1,152	1,153	ND

Fuente: CONAGUA, 2005; 2006; 2007a; 2009a; 2010a; 2011 a; 2012a. ND: No determinado.

Adicionalmente también cuentan con un laboratorio de aguas residuales certificado ISO 9001: 2008 en donde se analizan cada mes más de 1,000 muestras y se realizan más de 2,900 análisis (DHC-AGUAKAN, 2014). Entre los tipos de aprovechamientos actuales de aguas las residuales en la ciudad de Cancún se encuentran el riego de campos de golf, riego de áreas verdes, así como recargas de acuíferos e inyección al subsuelo (CONAGUA, 2012).

6.2.3.4 Potabilización

En el año 2005, el estado de Quintana Roo tenía registradas 5 plantas potabilizadoras de agua, 3 de ellas ubicadas en la ciudad de Cancún (CONAGUA, 2005). Sin embargo, desde el 2006 éstas están dadas de baja del Inventario Nacional de Plantas Municipales de Potabilización y de Tratamiento de Aguas Residuales en Operación debido a que no operaban con su proceso (CONAGUA, 2006a), por lo que actualmente la ciudad de Cancún no cuenta con plantas de potabilización.

Sin embargo, la empresa DHC-AGUAKAN cuenta con un moderno sistema de cloración:

- Laboratorio de agua potable certificado ISO 9000: 2008.
- Laboratorio de verificación de medidores certificado ISO 9001: 2008.

6.3 Recursos disponibles (caudales y volúmenes de producción)

El caudal producido junto con la capacidad instalada del organismo operador casi no han variado del 2005 a la fecha. Para el 2013 se produjeron un total de 2,234 l/s en 167 pozos para la ciudad de Cancún (Tabla 6.6). La mayor parte de este volumen fue para la ciudad de Cancún con el 90% del total, para la zona hotelera solamente se destinó el 10% del caudal producido para el 2013 (Tabla 6.7).

Tabla 6.6. Cobertura de macromedición en las fuentes de abastecimiento para Cancún.

			2005	2006	2007	2008	2009	2013
Caudal producido (l/s)			1,860	1,850	1,900	1,900	2,198	2,234
Fuentes de abastecimiento	En operación		141	141	146	146	163	167
	Fuera de operación		2	4	2	2	ND	18
	Capacidad instalada (l/s)		2,000	2,000	2,150	2,150	2,286	ND
	Macromedición	Funciona (l/s)	2,000	2,000	1,900	1,900	ND	ND

Nota: ND: No determinado

Fuente: CONAGUA, 2005; 2006; 2007b; 2008b; 2010b y datos proporcionados por la empresa AGUAKAN.

Tabla 6.7. Caudal producido por zonas para Cancún en 2013.

Zona	Caudal producido (l/s)	Porcentaje (%)
Ciudad de Cancún	1,996	89.5
Zona Hotelera	228	10
Moon Palace	10	0.4

Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por la empresa AGUAKAN.

Para el 2003, la zona de captación Aeropuerto contaba con la mayor cantidad de pozos y por tanto una mayor capacidad instalada, seguida de la Antigua. Aunque el complejo Nuevos Horizontes en conjunto supera la capacidad de todas las plantas (Tabla 6.8).

Tabla 6.8. Capacidad instalada de las zonas de captación de la ciudad de Cancún al 2003.

Zona de captación	Numero de pozos	Capacidad instalada (l/s)	Capacidad producida (l/s)
La Antigua	20	286	286
Aeropuerto	31	515	515
Ampliación Aeropuerto	16	318	318
Nuevos Horizontes 1ª etapa	18	238	238
Nuevos Horizontes 2ª etapa	15	172	172
Nuevos Horizontes 3ª etapa	15	183	183
Total	115	1,712	1,712

Fuente: Guzmán, 2003.

El volumen de agua producida ha aumentado aproximadamente 20 Hm^3 en los últimos diez años, al igual que la estimación de pérdida que actualmente se encuentra en el 52%, lo que indica que del total de agua extraída en Cancún el 52% no era contabilizado. Esto refleja el enorme porcentaje de pérdidas por fugas o por falta de cobranza de la empresa (Tabla 6.9).

Tabla 6.9. Volumen de agua producida y estimación de pérdida en la ciudad de Cancún.

Año	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Volumen de agua producida (introducida al sistema) (Hm^3/año)	58.6	58.5	58.3	59.6	64.7	72.1	71.9	71.7	73.6	76.6
Volumen de agua suministrada (micromedida o estimada) (Hm^3/año)	35.7	35.3	34.2	38.7	40.7	41.0	40.1	39.4	40.2	39.9
Estimación de pérdida de agua en la red (%)	61	60	59	65	63	57	56	55	55	52
Captación per cápita (producción/población servida) (l/h/d)	274	273	272	279	302	337	309	298	297	300

Fuente: Información proporcionada por la empresa AGUAKAN.

Para el año 2013 se tiene que se produce más durante los meses de marzo y agosto, y el mes en que menos se produce es febrero. El volumen total anual extraído en el 2013 para la ciudad de Cancún fue de casi 63 Hm^3, para la zona hotelera fue de 7.23 Hm^3 y para el Hotel Moon Palace solamente 0.31 Hm^3 (Tabla 6.10).

Tabla 6.10. Volumen producido mensual de agua para la ciudad de Cancún por tipo de usuario al 2013 (Hm^3).

Usuario	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic	Total
Ciudad de Cancún	5.24	4.75	5.31	5.34	5.41	5.20	5.39	5.48	5.21	5.29	5.08	5.18	62.89
Zona hotelera	0.74	0.63	0.71	0.60	0.57	0.56	0.63	0.60	0.50	0.54	0.55	0.60	7.23
Hotel Moon Palace	0.10	0.07	0.07	0.04	0	0	0	0.01	0	0	0	0	0.31
Total	6.08	5.46	6.09	5.97	5.99	5.77	6.03	6.09	5.71	5.82	5.63	5.79	70.43*

Fuente: Información proporcionada por la empresa AGUAKAN. *Se considera valor proporcionado por la empresa AGUAKAN y puede no incluir otros usuarios.

6.4 Estado del servicio de agua potable

6.4.1 Calidad del agua

El desarrollo turístico de Cancún ha impactado de manera negativa en la calidad del agua del subsuelo, ya que la población en incremento genera cada vez más desechos líquidos y sólidos que de manera directa o indirecta repercuten en la calidad del agua subterránea (Granel *et al.*, 2002). Sin embargo, el registro y la evaluación del funcionamiento de estas fosas sépticas no se encuentran entre los alcances de la empresa concesionaria AGUAKAN, por lo que no manejan datos estadísticos al respecto.

En cuanto a la calidad del agua potable, la empresa AGUAKAN cuenta con modernos laboratorios que registran el estado del agua que distribuyen. En la tabla 6.11 se presentan los principales parámetros de calidad y sus límites permisibles según la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994 de salud ambiental que contiene los límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización. Dicha información se presenta para los cárcamos de la ciudad de Cancún 2000 Portillo, zona urbana y aeropuerto al año 2012, sin embargo la concesionaria indica que dichos valores se mantienen hasta la actualidad.

En este sentido, el agua que la empresa AGUAKAN distribuye en la ciudad de Cancún se encuentra por debajo de los límites permisibles en todos los parámetros que se mencionan en la tabla. Presenta un pH de alrededor de 7 cuando para esta zona el límite debe oscilar en los 8, de turbidez se presentan valores de 0.26 muy por debajo de la norma que establece 5 unidades. En cuanto al color se tienen como límite 20 unidades de las que en el agua de Cancún se registran menos de 4; los sólidos disueltos totales se encuentran por debajo de los 790 mg/l y la norma pide como máximo 1000 mg/l. Por su parte, los cloruros se encuentran en el orden de 220 mg/l cercanos a los 250 mg/l que establece la norma, de igual manera se reportan valores menores a 440 mg/l de dureza total cercanos al límite de 500 mg/l. El nitrógeno

amoniacal registra valores muy por debajo de los 0.5 mg/l que establece la norma, así como es el caso también de los nitritos, nitratos, sulfatos y trihalometanos. Finalmente no se encontraron en las muestras de agua potable de la ciudad de Cancún coliformes fecales ni totales siguiendo el límite que establece la norma.

Tabla 6.11. Parámetros de calidad del agua potable en la ciudad de Cancún al 2012.

Parámetro	Planta	Promedio	Límite permisible*
pH	Cárcamo 2000 Portillo	7.1	5-8
	Cárcamo Zona Urbana	7.1	
	Cárcamo Aeropuerto	7.2	
Turbidez	Cárcamo 2000 Portillo	0.23	5 unidades
	Cárcamo Zona Urbana	0.24	
	Cárcamo Aeropuerto	0.26	
Color	Cárcamo 2000 Portillo	3.75	20 unidades
	Cárcamo Zona Urbana	3.75	
	Cárcamo Aeropuerto	2.50	
SDT	Cárcamo 2000 Portillo	759.0	1000 mg/l
	Cárcamo Zona Urbana	720.5	
	Cárcamo Aeropuerto	782.0	
Cloruros	Cárcamo 2000 Portillo	202.8	250 mg/l
	Cárcamo Zona Urbana	220.0	
	Cárcamo Aeropuerto	211.7	
Dureza total	Cárcamo 2000 Portillo	396.8	500 mg/l
	Cárcamo Zona Urbana	303.0	
	Cárcamo Aeropuerto	434.8	
Nitrógeno amoniacal	Cárcamo 2000 Portillo	0.05	0.5 mg/l
	Cárcamo Zona Urbana	0.03	
	Cárcamo Aeropuerto	0.05	
Nitritos	Cárcamo 2000 Portillo	0.0009	1 mg/l
	Cárcamo Zona Urbana	0.0006	
	Cárcamo Aeropuerto	0.0008	
Nitratos	Cárcamo 2000 Portillo	0.7	10 mg/l
	Cárcamo Zona Urbana	0.9	
	Cárcamo Aeropuerto	1.3	
Sulfatos	Cárcamo 2000 Portillo	26.8	400 mg/l
	Cárcamo Zona Urbana	25.4	
	Cárcamo Aeropuerto	24.0	
Trihalometanos	Cárcamo 2000 Portillo	0.06320	0.2 mg/l
	Cárcamo Zona Urbana	0.09735	
	Cárcamo Aeropuerto	0.06552	
Coliformes fecales	Cárcamo 2000 Portillo	0.0	Ausencia o no detectables
	Cárcamo Zona Urbana	0.0	
	Cárcamo Aeropuerto	0.0	
Coliformes totales	Cárcamo 2000 Portillo	0.0	Ausencia o no detectables
	Cárcamo Zona Urbana	0.0	
	Cárcamo Aeropuerto	0.0	

Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por la empresa AGUAKAN. *Valores basados en la NOM-127-SSA1-1994.

6.4.1.1 Continuidad y extensión del servicio 24 horas/7días

Si bien en la actualidad la cobertura porcentual de agua potable para las áreas regularizadas de la ciudad de Cancún es del 100% (CCA, 2011), esto no significa que el servicio esté garantizado de manera continua a lo largo del día y durante toda la semana para toda la población. Esto es porque la cobertura de agua potable mide el porcentaje total de población que está conectada al sistema de agua potable, pero el hecho de estar conectado no garantiza un servicio continuo. Es por ello que el Consejo Consultivo del Agua agregó un indicador llamado continuidad y extensión del servicio. En él se mide el porcentaje de tomas que cuentan con servicio 24 horas al día 7 días a la semana (CCA, 2011).

Para el 2011, sólo en 23 supermanzanas el abasto era durante las 24hr, en el resto de la ciudad se da por tandeos cuya duración varía de 4 hasta 18 horas. Para la ciudad de Cancún en el 2012 se registraron 48,522 tomas con servicio ininterrumpido las 24 horas del día al menos durante 350 días al año, que corresponden al 21% del total, mientras que para el 2013 esta cifra se elevó a 51,602 correspondiente al 22%. Esta falta de eficiencia se debe a tres problemas principales (PDUCP, 2011; Ordóñez-Cervantes, 2011):

1.- La antigüedad de las tuberías que genera fugas.

2.- La reducción del diámetro de las tuberías debido a la acumulación de sarro (carbonato de calcio).

3.- La infraestructura opera por encima de sus capacidades originales de diseño.

Analizando la continuidad del servicio por tipo de usuario se observa que el 27% de los usuarios domésticos recibe servicio ininterrumpido, 19% de los comerciales y el 70% de los hoteles (Tabla 6.12). La zona turística es la que cuenta con el servicio de manera completa y eficiente con una continuidad de 24 horas/7días.

La presión promedio a la que se bombea el agua en la ciudad de Cancún es de 1kg/cm^2, equivalente a 10 metros de columna de agua, y es variable en las diversas zonas de la ciudad.

Tabla 6.12. Continuidad en el servicio de agua potable por usuarios en la ciudad de Cancún al 2014.

Tomas	**Número total de tomas**	**Número de tomas con servicio continuo (ininterrumpido 24 horas / 365 días)**	**Porcentaje de usuarios con servicio continuo (%)**
Domiciliarias	227,636	62,191	27
Comerciales	16,835	3,331	19
Hoteles	326	231	70
Totales	244,797	65,753	26

Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por la empresa AGUAKAN.

6.4.1.2 Atención a clientes

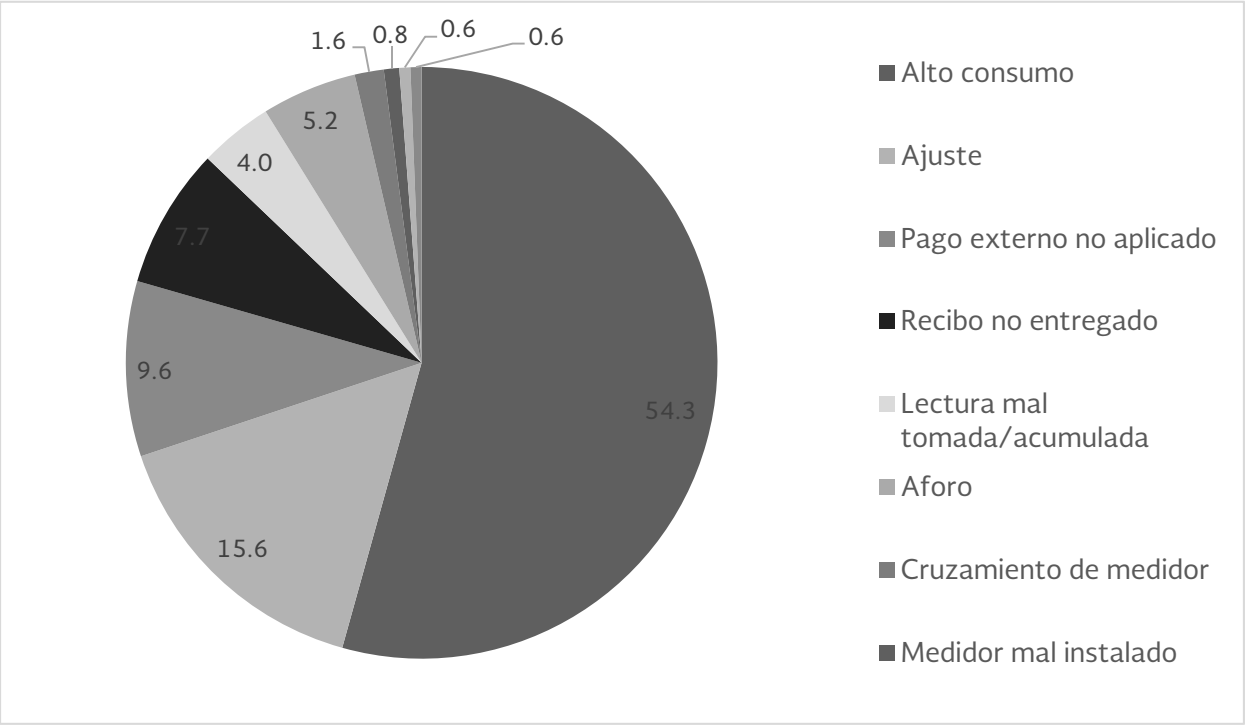
Al comenzar a operar la concesionaria y hasta el año 2002 existían reclamos seguidos de los usuarios y muchos se quedaban sin ser atendidos. En tiempos recientes, se implementó un sistema de atención a reclamos soportado por una herramienta informática: el Sistema de Atención a Reclamos (SAR) (AGUAKAN, 2014).

Además de esto, la empresa cuenta con el Centro de Coordinación de Operaciones (CCO) y la gerencia de grandes clientes. El primero recibe todos los requerimientos solicitados por los clientes y tiene el fin de otorgar un mejor servicio y atención a ellos. La gerencia de grandes clientes se creó en el 2003, es un área que brinda atención personalizada a las cuentas más representativas (actualmente cuenta con más de 1,000 grandes clientes) (AGUAKAN, 2014).

DHC-AGUAKAN atiende diariamente a más de 220,000 clientes, por lo que constantemente se requiere una mejora en los procesos de atención y servicio. Como ejemplo de ello cuentan con factura con código de barras que facilita el pago en los más de 300 establecimientos de todo el municipio, cinco módulos de pago en Cancún, convenios con otros establecimientos para el pago de servicios (Oxxo, Chedraui, Comercial Mexicana, Quality Stores, Coppel, Súper San Francisco, Grupo Scotiabank, Banorte, Extra, HSBC), cajeros automáticos para pago de servicios, pago en línea, oficina móvil de lunes a viernes de 9 am a 4 pm, un número telefónico de atención a clientes 24 horas al día los 365 días al año y dos módulos de atención a clientes en Cancún. Sin embargo, existen algunos reportes sobre la ineficiencia del servicio de algunos de los cajeros automáticos (Conde, 2014).

Según reportes de la misma empresa, durante el 2013 se registraron 17,256 quejas o aclaraciones de usuarios. De éstas, el 54.3% (9,374) fueron sobre alto consumo, seguido de ajustes de cuentas con 15.6% (2,685). Los restantes 39.1% fueron sobre temas como pago externo no aplicado, lectura mal tomada, recibo no entregado, medidor mal instalado, cruzamiento de medidor, reconexión no realizada, corte no violado y aforo (Figura 6.7).

Figura 6.7. Porcentaje de aclaraciones de usuarios a la empresa DHC-AGUAKAN en el 2013.



Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por la empresa AGUAKAN.

CAPÍTULO 7. EVALUACIÓN DE LA DEMANDA/CONSUMO DE AGUA

7.2 Análisis de la demanda

7.2.1 Cobertura

La cobertura de agua potable en la ciudad de Cancún es del 100% de las zonas regularizadas, adicionalmente existen asentamiento irregulares en la zona sur de la ciudad que no cuentan con tomas de agua potable y la concesionaria les distribuye el líquido con camiones pipas.

7.2.2 Usuarios

En el municipio de Benito Juárez ubicado en la parte norte del estado, en el que reside 50% de la población, se concentra el 66% de todas las fuentes de captación de agua para abastecimiento público. Esto se explica porque en esa zona se encuentra la ciudad de Cancún, cabecera municipal y polo turístico más importante de la región (INEGI, 2013b) que consume más agua que otras ciudades vecinas como Cozumel y Chetumal. El número de clientes atendidos por el organismo operador de agua crece año con año, en el 2010 habían 210,834 usuarios y para el 2013 ascendieron a 235,512 para Cancún (Tabla 7.1).

Tabla 7.1. Número de clientes DHC-AGUAKAN.

	2011	**2012**	**2013**
Número de clientes	210,834	222,886	235,512

Fuente: DHC-AGUAKAN, 2014.

En cuanto al número de tomas de agua, éstas casi se han duplicado en los sectores doméstico y comercial, aumentado en un 50% en el sector de servicios generales e industriales y aumentado ligeramente para el sector hotelero durante el periodo del 2005 al 2013 (Tabla 7.2).

Tabla 7.2. Tomas de agua por tipo de usuario al 2013.

Tipo de toma	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Doméstica	130,124	141,652	150,495	163,036	171,794	189,107	196,479	206,468	218,688
Comercial	8,217	8,782	9,052	9,271	10,114	11,409	12,939	14,925	15,329
Hoteles	253	258	264	268	267	268	273	277	279
Servicios generales e industriales	816	861	884	933	985	1,099	1,143	1,216	1,216
Total	139,410	151,553	160,695	173,508	183,160	201,883	210,834	222,886	235,512

Fuente: Elaboración propia con información proporcionada por la empresa AGUAKAN.

La micromedición es el número de micro-medidores en funcionamiento con respecto al número total de tomas. Es un requisito para la facturación y la cobranza y se relaciona con el uso eficiente del agua. Cancún-Isla Mujeres tiene una relación de 0.75 micromedidores por toma de agua, mientras que para Chetumal cuenta con apenas poco más de la mitad de micromedidores en relación con sus tomas de agua (CCA, 2011). En el 2009, Cancún tenía 179,397 tomas de agua potable registradas, de los cuales 138,226 contaban con medidores, y de esos 917 estaban sin funcionar (CONAGUA, 2009). Para diciembre de 2013, existían 235,512 tomas en la ciudad que facturaron 35.2 Hm^3. Un cliente doméstico factura en promedio 107 m^3/año, mientras que una comercial 222 m^3/año y uno industrial 740 m^3/año. Los clientes del ramo hoteles son los que más agua consumen con casi 20,000 m^3 al año, sin embargo no representan el consumo más alto para la empresa ya que solamente

son 279 hoteles usuarios. El hotel Moon Palace tiene una categoría por sí solo ya que consume más de un millón de m^3 al año (Tabla 7.3).

Tabla 7.3. Tomas de agua potable con medidor instalado en Cancún al 2013.

Tipo de toma	Tomas de agua potable registradas	Volumen medido (Hm^3)	Volumen facturado (Hm^3)	Consumo por toma (m^3/año)
Doméstica	218,688	23.5	23.5	107.4
Comercial	15,329	3.4	3.4	221.8
Hoteles	279	5.5	5.5	19,713
Servicios generales e industria	1,216	0.9	0.9	740.13
Hotel Moon Palace	NA	1.3	1.3	1,327,056
Pipas	NA	0.6	0.6	ND
Total	235,512	35.2	35.2	

Fuente: Elaboración propia con información proporcionada por la empresa AGUAKAN. NA: No aplica. ND: No determinado.

Para el año 1994, solamente se contaba con el 61% de la cobertura de agua potable en la zona urbana de los municipios de Benito Juárez-Cancún e Isla Mujeres. Al 2012 se logró incrementar la cobertura de agua potable al 100% (más de 210 millones de litros al mes) (DHC-AGUAKAN, 2014).

Al 2013 la ciudad de Cancún registra en los últimos cuatro años un consumo promedio por habitante de 300 l diarios. El sector hoteles y recientemente el hotel Moon Palace son los usuarios que más agua consumen en promedio mensual para la ciudad de Cancún, en tercer lugar se encuentra la categoría de servicios generales e industriales, después comercial y por último los usuarios domésticos (Tabla 7.4).

Tabla 7.4. Facturación mensual promedio de agua potable por tipo de usuario en la ciudad de Cancún (m^3/año).

Tipo de toma	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Doméstica	12.2	12.0	11.6	10.8	9.8	9.5	9.2
Comercial	26.2	29.1	27.5	25.4	22.8	22.1	19.0
Servicios generales e industriales	61.2	66.0	63.8	64.1	63.2	64.4	59.0
Hoteles	2,010	2,058	1,705	1,545	1,483	1,566	1,645
Hotel Moon Palace	30,660	90,996	155,762	160,114	132,749	112,777	110,588

Fuente: Elaboración propia con información proporcionada por la empresa AGUAKAN.

En la tabla 7.5 se presentan los cinco principales usuarios abastecidos por AGUAKAN y su volumen de consumo. El total del consumo de los cinco principales clientes por tipo de toma no rebasa el 3% del total de la producción de la empresa, por lo que no existen usuarios que demanden una proporción importante del agua que produce la empresa para los cuales haya que tomar medias extremas para abastecer en caso de una contingencia de sequía, mas que el Hotel Moon Palace.

Tabla 7.5. Principales usuarios de agua potable en la ciudad de Cancún Dic. 2013- Nov. 2014.

Nombre	Nombre Comercial	Consumo (m^3/año)
COMERCIALES		
Palace Resorts, S.A De C.V	Parque Nizuc	132,000
Nuevo Malecón Cancún, S.A. De C.V.	Plaza Malecón Américas	88,225
Luxe Administración y Control Inmobiliario S A P I De CV	Plaza La Isla	76,927
Luxe Administración y Control Inmobiliario S A P I De CV	Forum	56,353
Administración Pabellón Cancún S.C.	Plaza Pabellón Cumbres	40,190
DOMÉSTICO		
Condominios Solymar Cel	Condominios Solymar Cel	38,854
Condominios Villas Marlín	Condominios Villas Marlin	36,526
Condominio Punta Dorada (Administración)	Condominio Punta Dorada	34,880
Condominio Maestro Novo Cancún	Condominio Novo Cancún	30,471
Condominios Brisas	Condominios Brisas	28,478
HOTEL		
Cala Formentor, S.A. de C.V.	Hotel Melia Cancún	227,827
Inversiones Mallorca S.A de C.V.	Hotel Excellence Playa Mujeres	188,584
Villas Internacionales del Caribe S de Rl de CV	Hotel Royal Solaris Caribean & Marina	181,575
Hotelera Chicome S.A. de C.V.	Hotel Kristal	164,484
Promotora Amaneceres del Caribe 1, S. de R.L. de C.V.	Hotel Me By Melia	147,051
SERVICIOS GENERALES		
Gobierno Del Estado Libre y Soberano de Quintana Roo	Cárcel Municipal	172,956
Instituto Mexicano del Seguro Social	Hospital Regional Del IMSS	61,415
Servicios Estatales de Salud	Hospital General	31,515
Universidad Tecnológica de Cancún	Universidad Tecnológica De Cancún	23,221
S.E.de S.Y B. Social	Clínica Familiar 3	22,780
INDUSTRIALES		
Silvia Del Pilar Moo Yah	-	2,995
Venancio Ake Petul	-	1,287
Inviqroo	-	1,204
Comisión Federal De Electricidad	Central Turbogas Cancún	1,137
Fernando Avilés Gómez	-	1,031

Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por la empresa AGUAKAN.

7.2.3 Consumo per cápita

La dotación de agua de la ciudad de Cancún oscila en los 109 m^3 por habitante al año considerando el porcentaje de pérdidas del orden del 50% de la empresa AGUAKAN, por lo que el consumo per cápita real es de 50 m^3 por habitante (Tabla 7.6).

Tabla 7.6. Consumo y dotación per cápita anual para la ciudad de Cancún 2013.

Año	Volumen producido (m^3)	Volumen facturado (m^3)	Población (No. de habitantes)	Dotación per cápita (m^3)	Consumo per cápita (m^3)
2013	76,600,000	35,200,000	698,938	109.6	50.3

Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por la empresa AGUAKAN.

7.2.4 Eficiencia del organismo operador de agua

Se consideran como pérdidas el agua que se escapa por fugas en la línea de conducción, tanques, red de distribución y tomas domiciliarias (CNA, 2004) y representa para el caso de Cancún el 40% de la dotación (CNA, 2003). Este parámetro se obtiene del estudio de fugas de los sistemas de localidades, elaborado por CNA (CNA, 2004).

7.2.4.1 Eficiencia física

La eficiencia física es un indicador que resulta de dividir el volumen facturado de agua entre el volumen producido, éste permite identificar la capacidad administrativa (en facturación y medición) del sistema operador, así como el uso sostenible del agua que permita minimizar las pérdidas. Para el año 2005, la ciudad de Cancún tenía una eficiencia física de 79%, pero cuatro año después se reportó una disminución de 29 puntos en este indicador (Tabla 7.7) (CONAGUA, 2005, 2006, 2010b).

Tabla 7.7. Eficiencia física de la empresa DHC-AGUAKAN en Cancún.

	2005	2007	2009	2013
Producción (m^3/año)	58,656,960	59,918,400	69,316,128	73,809,254
Volumen facturado (m^3/año)	46,354,890	31,496,861	34,652,668	34,570,478
Eficiencia física (%)	79	53	50	46

Fuente: CONAGUA 2005; 2007b; 2010b. Información proporcionada por la empresa AGUAKAN.

7.2.4.2 Eficiencia comercial

La eficiencia comercial se mide dividiendo el volumen cobrado entre el volumen facturado y resulta un indicador del desempeño de los sistemas operadores de agua en aspectos administrativos y gerenciales. Cancún es de la ciudades con mejor índice de eficiencia comercial con valores cercanos al 100%. En sólo cinco años (2005-2009) Cancún registró un aumento de 35 puntos en este indicador (Tabla 7.8). Por el otro lado, Chetumal registra de los valores más bajos reportados, con cerca de 50% (CCA, 2011).

Tabla 7.8. Eficiencia comercial de la empresa DHC-AGUAKAN en Cancún.

	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Cobranza (%)	98	98	99	99	96	96	96	98

Fuente: Elaboración propia con información proporcionada por la empresa AGUAKAN.

7.2.4.3 Eficiencia global

Este indicador engloba la eficiencia física y comercial del organismo operador, indica la relación entre la eficiencia física y la eficiencia comercial. En la Tabla 7.9 se observa la evolución de éste para DHC-AGUAKAN del 2011 al 2013, la cual se mantiene cercana al 50%, lo que indica que se cobra efectivamente la mitad del agua que se suministra.

Tabla 7.9. Eficiencia global de la empresa DHC-AGUAKAN en Cancún.

	2011	**2012**	**2013**
Eficiencia global (%)	53	52	53

Fuente: CONAGUA 2010b, 2012.

7.2.4.4 Productividad

El número de tomas por empleado es un indicador de eficiencia de los sistemas operadores de agua potable. Particularmente la ciudad de Cancún tiene un alto nivel de productividad comparado con otras ciudades del sureste mexicano como Chetumal y Villahermosa (CCA, 2011). Con el paso del tiempo, la concesionaria se ha vuelto más eficiente pues ha reducido el número de empleados a medida que aumenta el número de tomas, disminuyendo de 3.5 a 2.7 empleados por cada mil tomas del 2005 al 2013 (Tabla 7.10).

Tabla 7.10. Número de tomas de agua potable registradas y número de empleados por cada mil tomas en Cancún.

	Tipo de toma	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Tomas de agua potable registradas	Doméstica	150,495	163,036	171,794	189,107	196,479	206,468	218,688
	Comercial	9,052	9,271	10,114	11,409	12,939	14,925	15,329
	Hoteles	264	268	267	268	273	277	279
	Servicios generales e industriales	884	933	985	1,099	1,143	1,216	1,216
	Total	160,695	173,508	183,160	201,883	210,834	222,886	235,512
Número de empleados	Total	484	505	527	542	571	597	627
	Por cada 1,000 tomas	3.0	2.9	2.9	2.7	2.7	2.7	2.7

Fuente: Elaboración propia con información proporcionada por la empresa AGUAKAN.

La empresa DHC-AGUAKAN reinvierte el 11.4% de sus ventas anuales para el crecimiento y mantenimiento mayor de la infraestructura en operación. Para el año 2009 reportó un costo por toma de $2,293.28 y con un costo de producción de $5.94 por m^3 (Tabla 7.11).

Tabla 7.11. Costo unitario de producción y precio de venta promedio en Cancún.

Indicadores		2005	2007	2009
Tomas de agua		137,895	160,650	179,397
Volumen anual	Producción (m^3/año)	58,656,960	59,918,400	69,316,128
	Volumen recaudado (m^3/año)	29,066,521	28,922,806	32,539,212
Ingresos anuales por servicios ($)		397,011,262	405,179,548	463,947,758
Egresos anuales gasto corriente ($)		298,130,000	348,770,544	411,407,677
Costos unitarios	Costo por toma ($/toma)	2,162	2,171.00	2,293.28
	Costo producción ($/$m^3$)	5.08	5.82	5.94
Ingresos unitarios	Ingresos por toma ($/toma)	2,879	2,522.13	2,586.15
	Ingreso promedio ($/$m^3$)	6.77	6.76	6.69
	Ingreso venta ($/$m^3$)	13.66	14.01	14.26

Fuente: CONAGUA, 2005; 2006b; 2007b; 2010b.

7.2.5 Tarifas

En el pasado existió un régimen tarifario de subsidios para todos los sectores, sin embargo, al alcanzar volúmenes por arriba de los 15 metros cúbicos las tarifas se elevan considerablemente, lo que ha hecho que varios hoteles hayan instalado plantas desalinizadoras propias (Bitrán, 1999).

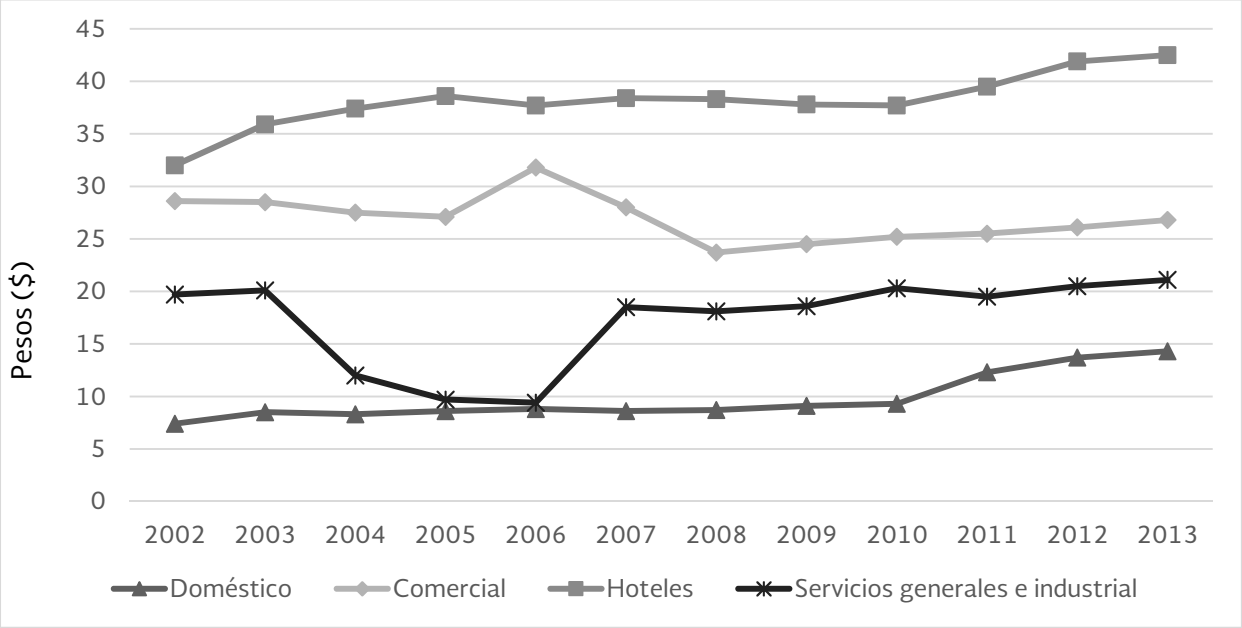
La tarifa del agua potable en Cancún subió de $8.3 a $14.3 por m^3 del 2004 al 2013 (Tabla 7.12 y figura 7.1). La tarifa comercial ha presentado leves altibajos durante el mismo periodo de años, siendo la tarifa para los hoteles la más cara seguida de la comercial. El costo del servicio de alcantarillado y saneamiento comenzó a cobrarse en el 2009 a $2 por m^3, tarifa que se ha mantenido hasta el 2012 (CONAGUA, 2008; 2010b).

Tabla 7.12. Variación porcentual de las tarifas de agua por consumo doméstico de Cancún 2004-2012 (pesos).

	2004	**2005**	**2006**	**2007**	**2008**	**2009**	**2010**	**2011**	**2012**	**2013**
Doméstico	8.3	8.6	8.8	8.6	8.7	9.1	9.3	12.3	13.7	14.3
Comercial	27.5	27.1	31.8	28.0	23.7	24.5	25.2	25.5	26.1	26.8
Hoteles	37.4	38.6	37.7	38.4	38.3	37.8	37.7	39.5	41.9	42.5
Servicios generales e industrial	12.0	9.7	9.4	18.5	18.1	18.6	20.3	19.5	20.5	21.1
Pipas	6.0	5.8	5.8	5.9	6.2	6.3	5.8	5.7	7.4	6.6
Agua en bloque	-	-	-	7.4	7.2	7.3	12.1	15.8	16.0	16.1

Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por la empresa AGUAKAN.

Figura 7.1 Tarifas de agua potable y alcantarillado por tipo de usuario para Cancún.



Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por la empresa AGUAKAN.

CAPÍTULO 8. BALANCE DE AGUA Y EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD INSTALADA

La pérdida de agua se da a través de fugas dentro del sistema de distribución debido a la antigüedad de las tuberías, y al reducido diámetro de las tuberías que se obstruye con la acumulación de sarro. También existe una sobre operación de la infraestructura. Otra fuente de pérdida es el escaso volumen facturado con relación al volumen producido del orden del 50% para esta empresa.

8.1 Capacidad de abasto y capacidad instalada

La capacidad instalada de la empresa AGUAKAN para el año 2009 fue del orden de los 72 Hm^3 y se estima que para el 2013 dicha cifra haya aumentado de manera que alcance a cubrir y superar el volumen producido (Tabla 8.1). En la tabla 8.1 se observa que la razón de producción supera la unidad en 2012 y 2013 debido a esta cifra no actualizada de la capacidad instalada. En cuanto a la razón de consumo se obtuvieron cifras por arriba del 50% para todos los años, es decir el consumo se alcanza a cubrir con la capacidad instalada, pero no el porcentaje de pérdidas que es del 50%.

Tabla 8.1. Capacidad de abasto para la ciudad de Cancún.

Años	Volumen producido (Hm^3) (A)	Volumen consumido (Hm^3) (B)	Capacidad instalada* (Hm^3) (C)	Razón de producción sobre capacidad (A/C)	Razón de consumo sobre capacidad (B/C)
2010	71.9	40.1	72.09	0.99	0.55
2011	71.7	39.4	72.09	0.99	0.54
2012	73.6	40.2	72.09	1.02	0.55
2013	76.6	39.9	72.09	1.06	0.55

Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por la empresa AGUAKAN. *Se consideró valor disponible de 2,286 lps del año 2009.

8.2 Variación estacional de oferta y demanda

8.2.1 Dotación

El volumen producido mensual de 2010 a 2013 se ha incrementado año con año, febrero es el mes en que se produce menos y agosto en el que se produce más agua (Tabla 8.2).

Tabla 8.2. Volumen producido mensual de agua de la ciudad de Cancún (Hm^3).

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic
2010	5.99	5.44	6.00	5.92	6.07	5.96	6.26	6.38	6.04	6.01	5.79	6.05
2011	5.99	5.43	6.03	6.01	5.99	6.06	6.31	6.20	5.95	5.90	5.78	6.03
2012	6.06	5.67	6.12	6.00	6.19	5.92	6.35	6.30	6.07	6.28	6.01	6.22
2013	6.36	5.71	6.38	6.27	6.28	6.04	6.33	6.39	5.98	6.10	5.90	6.07

Fuente: Elaboración propia con información proporcionada por la empresa AGUAKAN.

De acuerdo al volumen de producción mensual se obtuvo la dotación de agua por habitante diariamente para cada mes de estudio. Se tiene que en promedio en el 2010 para cada habitante de la ciudad de Cancún se produjeron 309 litros diarios, cifra que ha disminuido con el paso del tiempo llegando a 289 l para el año 2013. Obteniendo una dotación promedio en los últimos cuatro años de 298 l/h/día (Tabla 8.3).

Tabla 8.3. Dotación de agua (l/hab/día) para la ciudad de Cancún.

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic	Promedio
2010	303	305	303	309	307	311	316	322	316	304	303	306	309
2011	293	294	296	305	293	307	309	304	301	289	293	296	298
2012	288	288	291	295	294	291	302	299	298	299	295	296	295
2013	294	292	295	299	290	288	292	295	285	282	281	280	289

Fuente: Elaboración propia con información proporcionada por la empresa AGUAKAN.

Para la zona hotelera, del 2004 al 2008 las mayores dotaciones se presentaron en julio y agosto, meses que coinciden con el período vacacional, mientras que octubre fue el mes con más baja dotación (Tabla 8.4).

Tabla 8.4. Dotación de agua (l/hab/día) 2004-2008 en la zona hotelera de Cancún.

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic	Promedio
2004	289	324	338	342	327	356	377	371	300	289	316	326	329
2005	348	355	375	369	351	345	345	357	294	180	162	169	304
2006	186	196	222	247	243	262	271	260	226	205	216	225	229
2007	246	255	271	271	252	238	245	255	214	227	266	263	250
2008	273	286	301	296	301	282	303	302	243	245	254	251	278
2009	226	233	295	288	231	214	273	277	236	221	222	244	246

Fuente: IMTA, 2011.

CAPÍTULO 9. ESCENARIOS FUTUROS DE LA PRODUCCIÓN Y CONSUMO

9.1 Patrones de consumo en 5, 10 y 15 años

La ciudad de Cancún ha experimentado un acelerado y notable crecimiento poblacional desde sus inicios. Sin embargo se espera que para años futuros esta tasa empiece a disminuir paulatinamente, ya que la población se va dispersando en localidades cercanas que igualmente han ido creciendo notablemente en los últimos años como Playa del Carmen y Tulum.

El comportamiento de los últimos 10 años en el consumo de agua se ajusta a un escenario realista hacia el futuro, el cual indica que es probable que exista un incremento suave en la demanda provocado por el aumento de la población en la ciudad de Cancún. Sin embargo, los datos de consumo de la empresa muestran que la demanda ha ido disminuyendo con el paso del tiempo, debido posiblemente a las campañas de cultura de agua o por motivos económicos.

Se desarrollaron dos tipos de proyecciones del consumo de agua potable para la ciudad de Cancún tomando en cuenta la proyección de la población y una proyección del número de usuarios y consumo para años futuros.

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.

9.1.1 Escenario tendencial con proyección de la población

Este escenario 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/hab/día por año por la población proyectada. Posteriormente se convirtió este valor a m^3/día dividiendo entre 1000. Esta cifra se extrapoló a 365 días arrojando el valor del volumen en m^3/año.

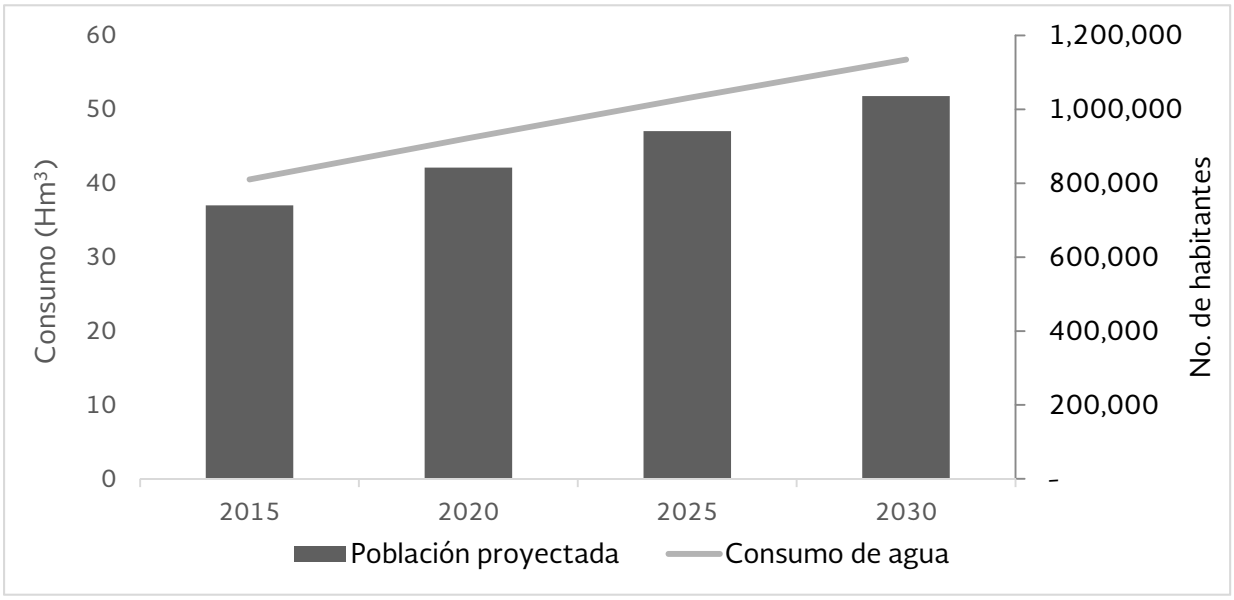
En la tabla 5.1 se presenta la proyección del consumo de agua potable para la ciudad de Cancún suponiendo que la demanda per cápita se mantenga en 150 l/hab/día, lo que arroja un volumen de poco más de 57 millones de m^3 al año para 2030 (Tabla 9.1 y Figura 9.1).

Tabla 9.1. Proyección del consumo de agua para 2030 con un escenario tendencial con proyección de la población.

	Tasa de crecimiento de la población (%)	**Población proyectada (# habitantes)**	**Demanda per cápita de agua (l/hab/día)**	**Consumo de agua proyectado (m^3/día)**	**Consumo de agua proyectado (Hm^3/año)**
2015	2.9	740,100	150	111,015	41
2020	2.5	842,187	150	126,328	46
2025	2.1	940,865	150	141,130	52
2030	1.9	1,036,043	150	155,407	57

Fuente: Elaboración propia con datos de CONAPO.

Figura 9.1. Proyección de la demanda de agua potable anual para Cancún con un escenario tendencial con proyección de la población.



Fuente: Elaboración propia.

9.1.2 Escenario tendencial con proyección por tipo de usuarios

Considerando el concentrado histórico del número de tomas o clientes por tipo de usuario de la empresa AGUAKAN y su facturación mensual (Ver tablas 7.3 y 7.4), se estimaron las tasas de crecimiento anual de cada rubro (Tabla 9.2) con las que se calcularon los valores futuros esperados del número de clientes y del consumo mensual por tipo de usuario para el 2015, 2020, 2025 y 2030. Finalmente se multiplicó el consumo mensual por el número de clientes para obtener el consumo futuro de agua potable en la ciudad de Cancún.

Tabla 9.2. Tasas de crecimiento del número de usuarios y su consumo (2005-2013).

Tipo de toma	Tasa promedio del crecimiento del número de usuarios (2005-2013) (%)	Tasa promedio de crecimiento del consumo (2005-2013) (%)
Doméstica	6.72	-3.81
Comercial	8.22	-3.45
Hoteles	1.23	-4.70
Servicios generales e industriales	5.16	-0.32

Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por la empresa AGUAKAN.

En el escenario tendencial se consideró que el número de usuarios por tipo de toma aumentaría a la tasa promedio registrada del 2005 al 2013. En cuanto al crecimiento en el volumen facturado mensual por tipo de cliente se utilizó el mismo criterio, aunque en este caso las tasas resultaron negativas indicando como ya se había mencionado anteriormente que el consumo ha ido disminuyendo con el paso del tiempo en la ciudad de Cancún (Tabla 9.2).

Los resultados del análisis del escenario tendencial indican que para el 2030 se triplicarían los usuarios hasta alcanzar una cifra de más de 722 mil usuarios que demandarían casi 50 Hm^3 de agua potable al año, por lo que considerando una eficiencia física del 65%, el organismo operador necesitaría producir alrededor de 77 Hm^3 (Tabla 9.3).

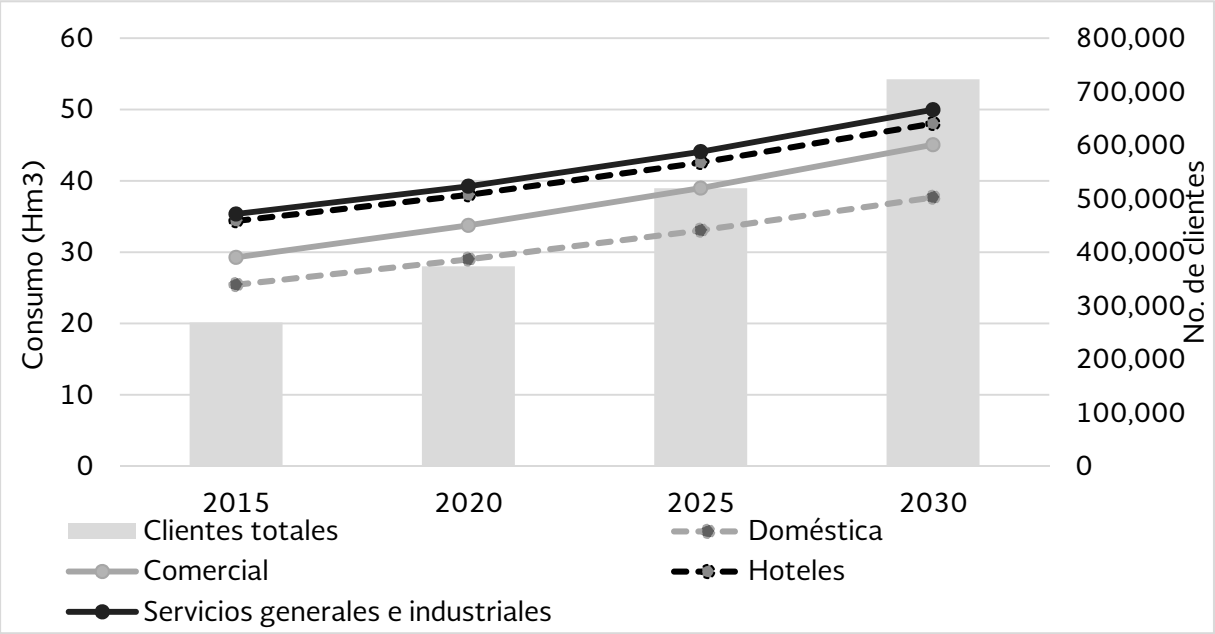
Los usuarios de tipo doméstico, comercial y de servicios generales aumentarán su consumo al 2030, sin embargo los de tipo hotelero disminuirán su demanda para el año 2030 (Figura 9.2).

Tabla 9.3. Proyección del consumo de agua para 2030 con un escenario tendencial con proyección del número de usuarios.

Tipo de toma	Indicador	2015	2020	2025	2030
Doméstica	No. de clientes	249,082	344,855	477,453	661,037
	Consumo mensual por usuario (m^3)	8.51	7.01	5.77	4.75
	Volumen producción (Hm^3/año)	25.44	29.01	33.07	37.69
Comercial	No. de clientes	17,951	26,642	39,540	58,682
	Consumo mensual por usuario (m^3)	17.71	14.86	12.46	10.45
	Volumen producción (Hm^3/año)	3.82	4.75	5.91	7.36
Hoteles	No. de clientes	285	304	323	343
	Consumo mensual por usuario (m^3)	1,493.90	922.79	922.79	725.26
	Volumen producción (Hm^3/año)	5.13	4.28	3.58	2.99
Servicios generales e industriales	No. de clientes	1,344	1,729	2,223	2,859
	Consumo mensual por usuario (m^3)	58.63	57.71	56.80	55.91
	Volumen producción (Hm^3/año)	0.95	1.20	1.52	1.92
Clientes totales	No. de clientes	268,664	373,530	519,541	722,923
Consumo total	Hm^3	35.34	39.23	44.08	49.96

Fuente: Elaboración propia.

Figura 9.2. Proyección de la demanda de agua potable anual para Cancún con un escenario tendencial con proyección del número de usuarios.



Fuente: Elaboración propia.

9.1.3 Escenario optimista con proyección de la población

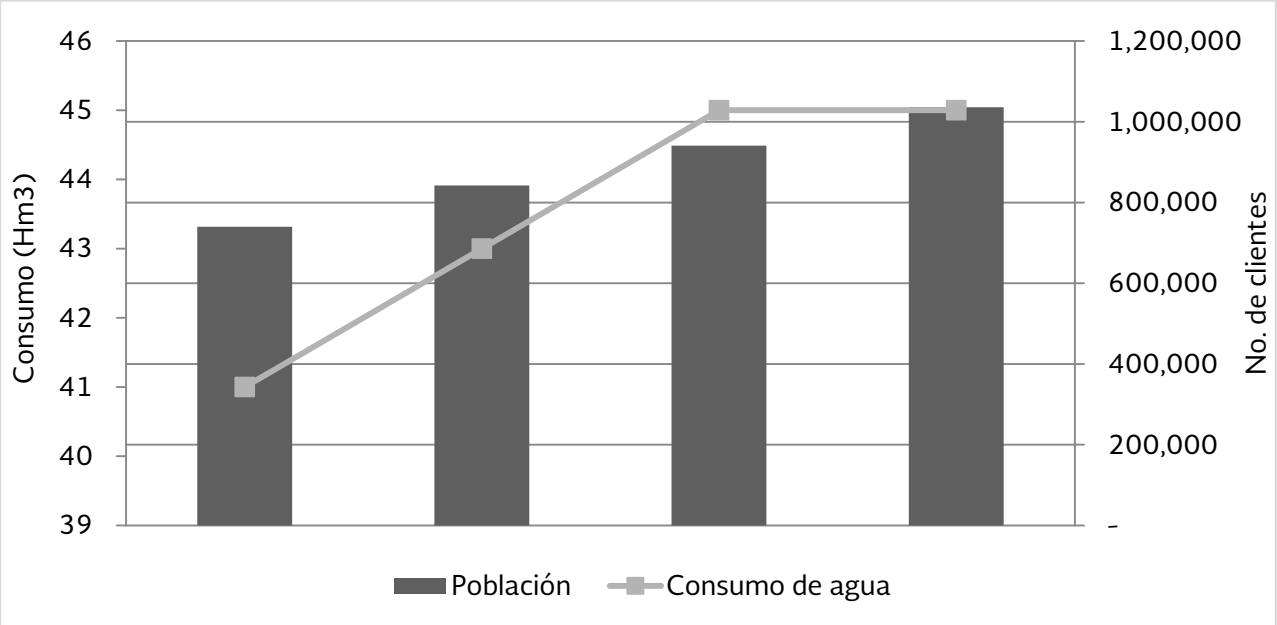
Un segundo escenario es más optimista y sugiere que la demanda per cápita de agua potable para la ciudad de Cancún va a ir disminuyendo paulatinamente con el paso de los años hasta llegar a un volumen de 120 m^3/hab. Para el año 2030 el volumen de agua potable consumida diariamente por la población alcanza una cifra de alrededor de 125 mil m^3/día, casi 30 mil m^3 menos que en el escenario conservador para el mismo año (Tabla 9.4 y Figura 9.3). El volumen consumido de m^3 de agua al año disminuye 12 millones con relación al escenario anterior.

Tabla 9.4. Proyección del consumo de agua para 2030 con un escenario optimista.

Año	Tasa de crecimiento de la población (%)	Población proyectada (# habitantes)	Demanda per cápita de agua (l/hab/día)	Consumo de agua proyectado (m^3/día)	Consumo de agua proyectado (Hm^3/año)
2015	2.9	740,100	150	111,015	41
2020	2.5	842,187	140	117,906	43
2025	2.1	940,865	130	122,312	45
2030	1.9	1,036,043	120	124,325	45

Fuente: Elaboración propia.

Figura 9.3. Proyección de la demanda de agua potable anual para Cancún con un escenario optimista.



Fuente: Elaboración propia.

9.1.1 Escenario optimista con proyección por tipo de usuarios

El escenario optimista fue elaborado tomando en consideración que la tasa actual de consumo se redujera aún más a un 20% y que la tasa de incremento de usuarios se mantuviera constante a lo largo del tiempo.

Los resultados arrojan que el consumo total de agua potable para la ciudad de Cancún se reducirá a 36 Hm^3, 13 millones menos que en el escenario tendencial. Con este volumen de consumo, la concesionaria necesitaría producir 55 millones de m^3 de agua para poder abastecer a la población en el 2030, con un porcentaje de eficiencia del 65% (Tabla 9.5).

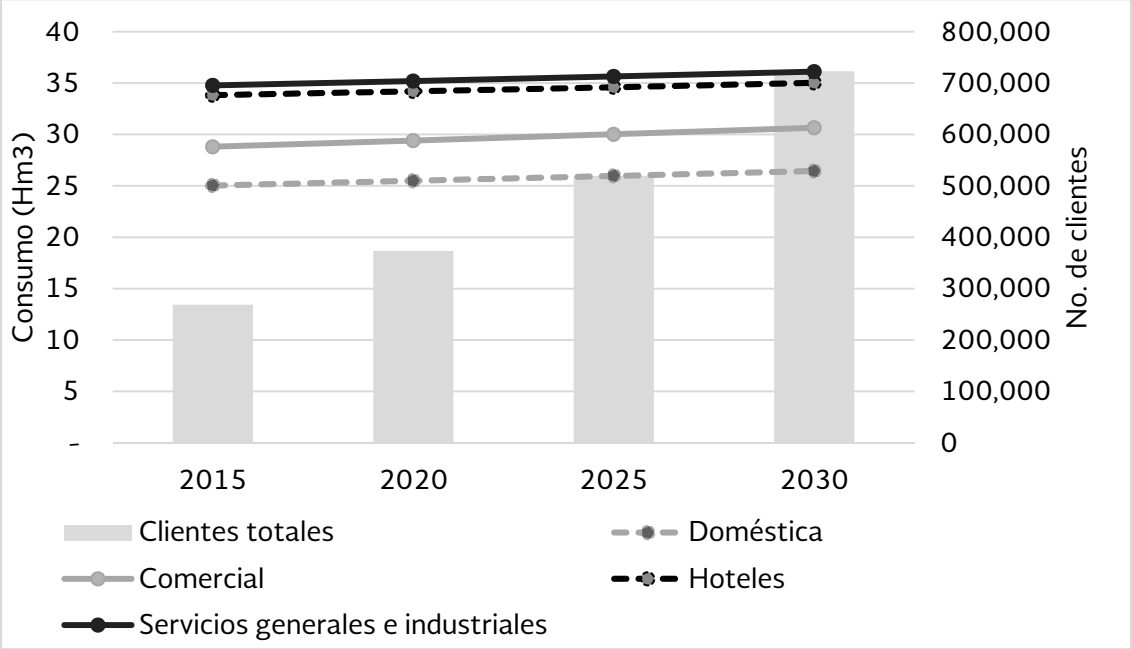
En la figura 9.4 es notable que el consumo por tipo de usuarios se mantiene relativamente constante con el paso del tiempo.

Tabla 9.5. Proyección del consumo de agua para 2030 con un escenario optimista con proyección del número de usuarios.

Tipo de toma	Indicador	2015	2020	2025	2030
Doméstica	No. de clientes	249,082	344,855	477,453	661,037
	Consumo mensual por usuario (m^3)	8.38	6.63	5.25	4.15
	Volumen producción (Hm^3/año)	25.04	25.50	25.97	26.45
Comercial	No. de clientes	17,951	26,642	39,540	58,682
	Consumo mensual por usuario (m^3)	17.46	14.13	12.46	10.45
	Volumen producción (Hm^3/año)	3.76	3.90	4.05	4.20
Hoteles	No. de clientes	285	304	323	343
	Consumo mensual por usuario (m^3)	1344.69	922.79	922.79	725.26
	Volumen producción (Hm^3/año)	5.03	4.80	4.58	4.38
Servicios generales e industriales	No. de clientes	1344	1729	2223	2859
	Consumo mensual por usuario (m^3)	285.93	57.71	56.80	55.91
	Volumen producción (Hm^3/año)	0.94	0.99	1.04	1.09
Clientes totales	No. de clientes	268,664	373,530	519,541	722,923
Consumo total	Hm^3	34.77	35.19	35.64	36.11

Fuente: Elaboración propia.

Figura 9.4. Proyección de la demanda de agua potable anual para Cancún con un escenario optimista con proyección del número de usuarios.



Fuente: Elaboración propia.

9.1.2 Escenario pesimista con proyección de la población

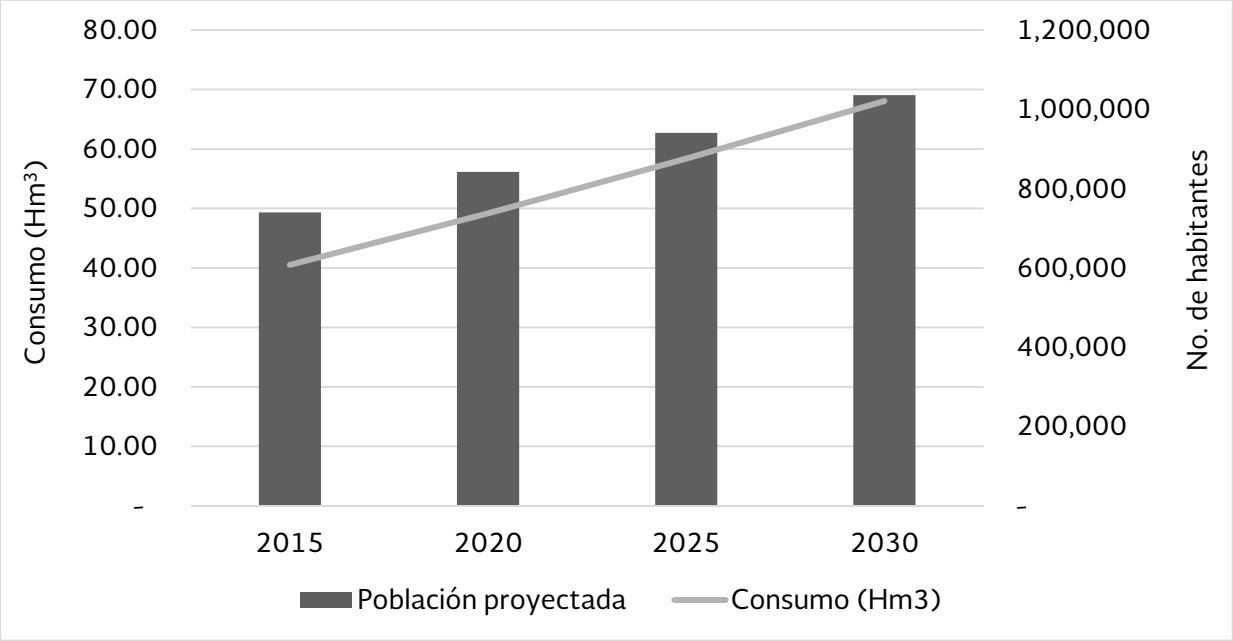
Tomando como supuesto que la demanda de agua per cápita va a aumentar 10 l cada cinco años a partir del 2015, se espera un consumo total de 68 Hm^3 para el año 2030 que casi duplica la proyección del escenario optimista (Tabla 9.6 y figura 9.5).

Tabla 9.6. Proyección del consumo de agua para 2030 con un escenario pesimista.

Año	Tasa de crecimiento de la población (%)	Población proyectada (# habitantes)	Demanda per cápita de agua (l/hab/día)	Consumo de agua proyectado (m^3/día)	Consumo de agua proyectado (Hm^3/año)
2015	2.9	740,100	150	111,015	41
2020	2.5	842,187	160	134,750	49
2025	2.1	940,865	170	159,947	58
2030	1.9	1,036,043	180	186,488	68

Fuente: Elaboración propia.

Figura 9.5. Proyección de la demanda de agua potable anual para Cancún con un escenario pesimista.



Fuente: Elaboración propia.

9.1.3 Escenario pesimista con proyección por tipo de usuarios

En el escenario pesimista se consideró que la tasa actual de consumo aumentara un 20% y la tasa de incremento de usuarios se incrementara en un 10% a lo largo del tiempo.

El consumo total de agua potable para la ciudad de Cancún aumentará a casi 56 Hm^3, 6 millones de m^3 más que en el escenario tendencial, por lo que AGUAKAN tendría que producir 86 Hm^3 y mantener un porcentaje de eficiencia del 65% para poder abastecer a la población de la ciudad (Tabla 9.7).

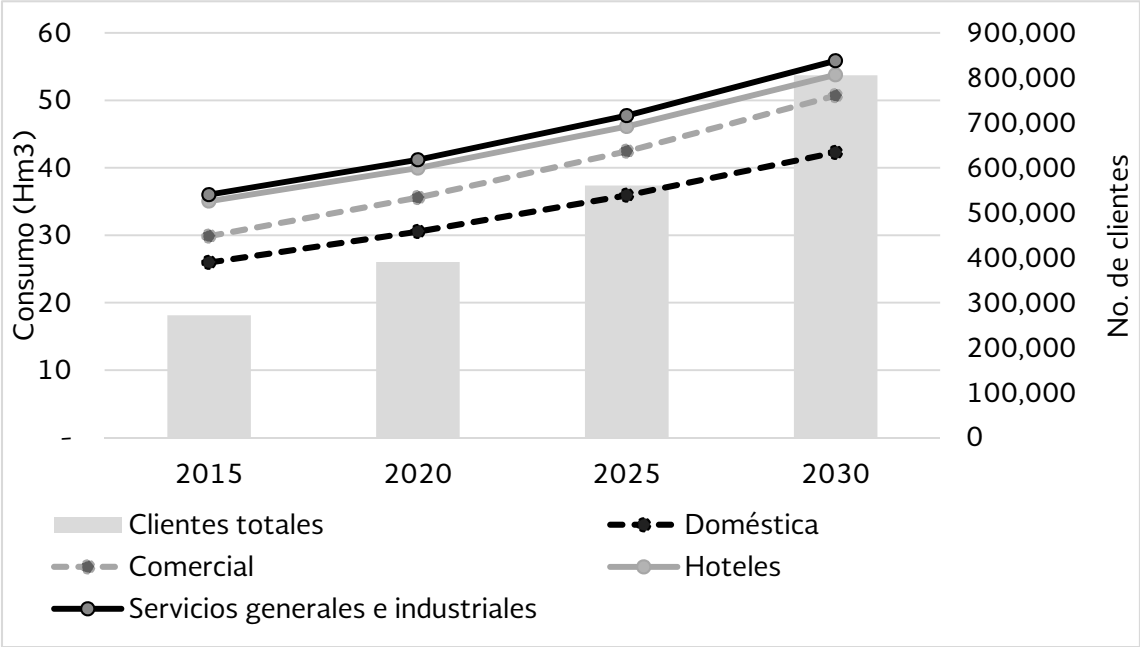
Bajo los supuestos de este escenario pesimista se observa en la figura 9.6 que el consumo por tipo de usuario aumenta para todos los sectores menos para el comercial. El número de clientes totales esperados para el año 2030 se triplica de 2015 a 2030.

Tabla 9.7. Proyección del consumo de agua para 2030 con un escenario pesimista con proyección del número de usuarios.

Tipo de toma	Indicador	2015	2020	2025	2030
Doméstica	No. de clientes	252,230	360,353	514,824	735,513
	Consumo mensual por usuario (m^3)	8.58	7.06	5.82	4.79
	Volumen producción (Hm^3/año)	25.97	30.55	35.94	42.28
Comercial	No. de clientes	18,225	28,090	43,297	66,735
	Consumo mensual por usuario (m^3)	17.46	7.06	12.46	10.45
	Volumen producción (Hm^3/año)	3.90	5.04	6.52	8.43
Hoteles	No. de clientes	286	306	327	350
	Consumo mensual por usuario (m^3)	286.63	922.79	922.79	725.26
	Volumen producción (Hm^3/año)	5.19	4.36	3.67	3.08
Servicios generales e industriales	No. de clientes	1357	1789	2358	3107
	Consumo mensual por usuario (m^3)	58.67	57.75	56.84	55.95
	Volumen producción (Hm^3/año)	0.96	1.24	1.61	2.09
Clientes totales	No. de clientes	272,100.08	390,540.25	560,808.30	805,707.09
Consumo total	Hm^3	36.01	41.20	47.74	55.88

Fuente: Elaboración propia.

Figura 9.6. Proyección del consumo de agua para 2030 con un escenario pesimista con proyección del número de usuarios.



Fuente: Elaboración propia.

9.2 Prospección de demanda de agua en la ciudad

En la Tabla 9.8 se presenta la prospección histórica de agua de la ciudad de Cancún. El análisis de la brecha hídrica indica que el organismo operador de Cancún podría enfrentar dificultades para satisfacer la demanda de agua de la población creciente en el corto plazo si el consumo de agua per cápita no disminuye. Ante este panorama se requerirá aumentar la eficiencia física y la capacidad instalada del organismo operador. Al aumentar la eficiencia física del organismo operador en un 10% se podría satisfacer la demanda de agua de la ciudad sin problemas por los próximos 10 años.

Tabla 9.8 Prospección histórica de demanda de agua en la ciudad de Cancún de 2015 a 2030.

Años	2015	2020	2025	2030
Población (habitantes) (A)	740100	842187	940865	1036043
Elasticidad ingreso de la demanda (B)	0.3	0.3	0.3	0.3
PIB per cápita (índice 2014=100) (C)*	100	110.4	121.9	134.6
Consumo per cápita de agua m³/año (D)	50.00	50.00	50.00	50.00
Consumo de agua de la ciudad (m³/año)(AxD)	37.0	42.1	47.0	51.8
Eficiencia Física % (Statu Quo) (E)	50	50	50	50
Consumo de agua de la ciudad con pérdidas (m³) (F=A x D/E×100)	74.0	84.2	94.1	103.6
Consumo de agua de la ciudad con 10% menos perdidas (Mm³) (G=Ax D/(E-10)×100)	61.7	70.2	78.4	86.3
Capacidad Instalada anual Mm³ (H)	81.1	81.1	81.1	81.1
Brecha hídrica Mm³ (Statu Quo) (H-F)	7.1	-3.1	-13.0	-22.5
Brecha hídrica Mm³ (Eficiente) (H-G)	19.4	10.9	2.7	-5.2

Nota: se consideró un incremento del PIB de la ciudad de 1.4%, un consumo per cápita, eficiencia física y capacidad instalada constantes. Fuente de la información: A (CONAPO, 2010); B y C (CONAGUA, 2014a) y D y E (Información proporcionada por CONAGUA).
Fuente: Elaboración propia.

9.3 Retos en el manejo urbano del agua

Ante el aumento poblacional que se proyecta para la ciudad de Cancún, el organismo operador tendrá que enfrentar diversos retos operativos y administrativos para poder satisfacer la demanda de agua potable.

Uno de los problemas más graves a los que se enfrentará es el mal estado de la infraestructura de distribución y almacenamiento que genera actualmente pérdidas considerables del agua potable del orden del 50%.

Entre los retos que se requieren llevar a cabo para el futuro se encuentran:

- Inversión en infraestructura de agua potable y saneamiento
- Aumentar la eficiencia
    - Disminuir el número de fugas
- Ampliar coberturas
- Establecer nuevos sitios de captación
- Establecer zonas de reserva de la calidad de agua
- Establecer zonas de protección al acuífero en zonas de recarga y extracción
- El crecimiento de la ciudad hacia el norte y el sur

Figura 9.7. Retos en el manejo del agua potable en la ciudad de Cancún.

Fuente: Elaboración propia.

Sin embargo, para la ciudad de Cancún no se prevé una reducción en la disponibilidad del agua, solamente aspectos como la contaminación de la misma o la dificultad para extraerla. Aunque sí se espera que la población de la ciudad y áreas conurbadas aumente, también se predice una disminución en el consumo por cliente, lo que contribuye a un escenario alentador para el abasto futuro de agua para Cancún.

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

10.1 Identificación de deficiencias en la gestión

En la tabla 10.1 se presentan algunas áreas en donde el organismo operador presenta problemas en la actualidad, así como un listado de posibles causas y soluciones para cada una. Entre las principales deficiencias que pueden afectar la productividad de la empresa AGUAKAN se encuentran la continuidad del servicio y la eficiencia física que ya fueron considerados por la concesionaria y se han planteado metas a futuro para disminuirlas.

Tabla 10.1. Áreas con deficiencias para el organismo operador AGUAKAN.

Área del problema	Indicador	Evaluación del indicador	Posibles causas	Posibles soluciones
Continuidad del servicio	Horas de servicio o días por semana	Media (12 horas y/o 6 días por semana)	Fugas Asentamientos irregulares	Aplicar el ordenamiento urbano Reparación de fugas Realizar cobranza efectiva
Eficiencia física	%	Mediana (50%)	Pérdidas en el sistema por tuberías antiguas No se reparan las fugas Usuarios que están exentos de pago	Recambio de tuberías antiguas Reparación de fugas
Tarifas	$\$/m^3$	Tarifa de agua potable que no cubre los costos	Tarifa no fijada por la concesionaria	Revisión y ajuste de tarifas

Fuente: Elaboración propia.

10.2 Fuentes alternas de abastecimiento

En caso de alguna contingencia a futuro, algunas de las fuentes de agua que se podrían utilizar para el abasto de agua en la ciudad de Cancún son:

- Operación de los pozos a su máxima capacidad.
- Aprovechamiento del agua de mar mediante la construcción de plantas desalinizadoras.
- Creación de infraestructura para la colección y aprovechamiento del agua de lluvia (Pozos de absorción en la ciudad).
- Pozos de reserva.

10.3 Prioridades de inversión para la prevención y mitigación de la sequía

En la empresa AGUAKAN se realizan diversas acciones en materia de inversión en infraestructura que contribuyen a prevenir y por tanto mitigan los efectos que la sequía pudiera ejercer en la ciudad de Cancún.

Actualmente el 45% de las inversiones realizadas por la empresa AGUAKAN se han realizado en el rubro de alcantarillado, el 37% en agua potable y un 18% en saneamiento (DHC-AGUAKAN, 2014).

Para el 2014, el Gobierno del Estado realizó obras de fortalecimiento de la infraestructura hidráulica y saneamiento en diferentes municipios. En Cancún se realizó el reforzamiento de la operatividad de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) Polígono Sur de Cancún (H. Ayuntamiento de Benito Juárez, 2013).

Además, utilizando recursos federales y estatales, durante 2013 y 2014 se realizaron 6 obras de saneamiento en la ciudad con el fin de contribuir al desarrollo sustentable de las zonas turísticas del estado. Estas son: la tercera etapa del módulo 1 de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del polígono sur, la primera etapa del sistema de drenaje sanitario en Puerto Juárez, también en la región 227 de Cancún y en Alfredo V. Bonfil, la construcción de la PTAR de Puerto Morelos y la segunda etapa del colector de aguas residuales del Polígono Sur (AGUAKAN, 2014).

En este año, la concesionaria DHC-AGUAKAN realiza obras de rehabilitación de la red de agua potable en el centro de Cancún. A lo largo del año se realizó una inversión de 52 millones de pesos, los cuales se usarán para el cambio de un total de 20,220 m de tuberías de diferentes redes (SM24, SM26, SM27, SM29 y SM32), beneficiando a 13,906 habitantes (AGUAKAN, 2014).

A partir del año 2015 se espera invertir aproximadamente de 9 a 10 millones de pesos por año hasta que termine el sexenio, inversión que se enfocará entre otros aspectos a mejorar la eficiencia desarrollando un programa de detección de fugas no visibles utilizando gas helio así como métodos acústicos. Una meta del organismo operador es llegar al 65% de eficiencia física en 10 años.

10.4 Medidas preventivas y de mitigación de sequía

En la tabla 10.2 se presenta una lista de estrategias que pueden contribuir a prevenir un evento de sequía o a disminuir los impactos que ésta pueda generar. Dichas estrategias se dividen en gubernamentales, ambientales y de educación y capacitación para la sequía, algunas provienen del PMPMS de la Península de Yucatán y se presentan aquellas que aplican para la ciudad de Cancún, así como las instituciones sugeridas para su desarrollo.

Tabla 10.2. Estrategias de prevención de la sequía en la ciudad de Cancún.

Estrategias	Acciones a realizar	Instituciones sugeridas
Gubernamentales		
Construir nueva infraestructura para diversificar las fuentes de abastecimiento	1. Identificar lugares donde se requiera la nueva infraestructura. 2. Hacer estudio de factibilidad. 3. Hacer el estudio económico y gestionar recursos.	CONAGUA/ CAPA
Cambiar la política de operación de las extracciones de agua para optimizar la eficacia	1. Definir política adecuada de extracción de agua. 2. Adecuar la política actual. 3. Dar a conocer al público la nueva política.	CONAGUA
Apoyar el desarrollo de programas de conservación de agua local	1. Identificar programas activos. 2. Campañas de promoción y capacitación para la conservación del agua local.	CONAGUA/ CAPA
Renovación con infraestructura adecuada que cumpla con la normatividad vigente para mejorar la eficiencia en la distribución y abasto del agua	1. Determinar la infraestructura con las características apropiadas. 2. Hacer el estudio económico y gestionar recursos.	CONAGUA / AGUAKAN
Promover instalación de dispositivos eficientes de agua	1. Identificación de dispositivos eficientes. 2. Desarrollar campañas de difusión sobre los beneficios de estos equipos.	CONAGUA/ / CAPA
Proveer medidores acústicos para ayudar a los consumidores a identificar fugas en tuberías	1. Hacer estudio de factibilidad. 2. Hacer el estudio económico y gestionar recursos en caso de ser viable.	CAPA/ AGUAKAN
Desarrollar red de drenaje para la colección de agua pluvial en la ciudad para el riego de jardines	1. Hacer estudio de factibilidad técnica. 2. Determinar costos y gestionar el recurso.	CAPA
Establecer reservas de agua contra la sequía para diferentes sectores	1. Ubicar zonas vulnerables a la sequía. 2. Identificar sitios de reservas de agua estratégicamente localizados. 3. Plan de uso para el agua de estas reservas.	CONAGUA/ CAPA/ AGUAKAN
Ampliar y modernizar redes piezométricas	1. Determinar la condición operacional de las redes piezométricas actuales. 2. Análisis técnico para la ampliación de las redes.	CONAGUA
Determinar intrusión salina en la cuenca	1. Identificar las áreas con mayor vulnerabilidad de la intrusión salina. 2. Establecer puntos de Monitoreo estratégicos. 3. Medición y análisis de los datos (Conductividad eléctrica).	CONAGUA/ INVESTIGACIÓN

Regularizar las descargas clandestinas de aguas residuales y promover el uso de la misma para el riego de áreas verdes	1. Ubicar principales fuentes de descargas residuales. 2. Implementar un plan de registro y seguimiento de los volúmenes de aguas residuales producidas.	CONAGUA/ CAPA
Implementación de plantas de tratamiento a nivel de fraccionamiento/colonia	1. Incentivar económicamente a los fraccionamientos que quieran implementar las plantas de tratamiento.	CONAGUA/ CAPA / Gobierno del estado
Incrementar superficies de áreas verdes con especies de poca demanda hídrica en zonas residenciales	1. Identificar las especies de poca demanda hídrica. 2. Gestión de recursos para solventar los gastos de ejecución. 3. Realizar la sustitución de especies.	AYUNTAMIENTO (Parques y jardines)
Promover la conversión de sistemas de enfriamiento industrial al uso de torres de enfriamiento	1. Identificar las industrias con potencial para utilizar torres de enfriamiento. 2. Incentivar económicamente la conversión a torres de enfriamiento.	SEMARNAT
Proponer programas de empleo temporal (PETs) para conservación, rehabilitación y mejora de la infraestructura hídrica	1. Conocer las necesidades de cada zona en relación a la infraestructura hídrica. 2. Crear PETs específicos relacionados con las necesidades identificadas.	CONAGUA/ SAGARPA
Medir el caudal y el volumen empleado para el riego	1. Establecer la periodicidad de medición del caudal y llevar un registro oficial.	CONAGUA
Promover el uso de sistemas de captación de agua de lluvia	1. Identificar instituciones que puedan otorgar asesoría técnica y apoyos económicos para la realización de la obra. 2. Gestionar recursos e inicio de las obras. 3. Difundir beneficios de los sistemas de captación.	CONAGUA
Ambientales		
Restablecer y conservar los flujos hidrológicos en los humedales	1.Analizar la problemática de los flujos hidrológicos de los humedales. 2.Crear un proyecto de reactivación de flujos. 3.Respetar los flujos hidrológicos de los humedales en la construcción de las carreteras.	SEMARNAT
Difundir el programa contra incendios y aplicar la normatividad en la materia	1.Crear campañas entre productores para dar a conocer el programa contra incendios y la normatividad. 2.Verificar que se respete el calendario de quemas y aplicar sanciones para quien no lo haga.	CONAFOR

Establecer un programa de combate a incendios	Ya existe. Evaluarlo y en su caso, mejorarlo.	CONAFOR
Educación y capacitación para la sequía		
Desarrollar campañas públicas de educación con estrategias de manejo de la demanda a corto y largo plazo	El PRONACOSE deberá de coadyuvar al desarrollo de las campañas de educación.	CONAGUA
Rastrear la percepción pública y la eficacia de las medidas contra la sequía	El PRONACOSE deberá de coadyuvar al desarrollo de estrategias de evaluación.	CONAGUA
Medir radiación solar para determinar la intensidad de la sequía	1. Incluir la medición de este parámetro en las unidades meteorológicas existentes. 2. Incorporar estos datos al conjunto de datos meteorológicos para el análisis de la sequía.	CONAGUA

Fuente: Elaboración propia basado en el PMPMS de la Península de Yucatán.

En la tabla 10.3 se presenta un cuadro con medidas preventivas y de mitigación de sequía para la ciudad de Cancún. Las medidas están divididas de acuerdo a los sectores en los que se actúa y se dividen en medidas preventivas y medidas por etapas de sequía (D0, D1, D2, D3, D4). Se tomaron en consideración algunas ya propuestas en el PMPMS de la Península de Yucatán que se pueden aplicar en la ciudad de Cancún.

Para todos los sectores se propone como medida preventiva, campañas de uso eficiente del agua en los diferentes sectores, por ejemplo el uso eficiente del riego de parques y jardines que incluye regar a horarios en que se aprovecha mejor el agua por las plantas, utilizar dispositivos o aspersores ahorradores de agua, o utilizar agua tratada para el riego.

Como principales medidas de mitigación, una vez que ya está presente la sequía, se propone limitar y prohibir el riego de jardines y limitar el uso de agua para algunos fines no vitales como lavar autos, lavar ropa, llenado de albercas, etc.

Tabla 10.3. Matriz de medidas de prevención y mitigación a la sequía por sector para la ciudad de Cancún.

MEDIDAS SECTOR GUBERNAMENTAL						
Medidas	**Medidas preventivas**	**D0 Anormalmente seco**	**D1 Moderada**	**D2 Severa**	**D3 Extraordinaria**	**D4 Excepcional**
Promover una cultura de riego eficiente (Ej., regar temprano en la mañana o por la tarde, utilizar aguas tratadas, utilizar aspersores, etc.).	P					
Promover la certificación de uso eficiente del agua en las oficinas públicas.	P					
Desarrollar campañas públicas de educación con estrategias de manejo de la demanda a corto y largo plazo.	P					
Educar al personal de los municipios sobre cómo ahorrar agua.	P					
Instalar dispositivos ahorradores en baños de los edificios municipales.	P					
Identificar usuarios de alto consumo de agua y desarrollar metas de ahorro.	P					
Utilizar aparatos para un riego eficiente (aspersores).	P					
Promover la reutilización del agua (aguas tratadas, grises, etc.), en donde sea posible realizarlo.		x	x			
Proveer instrucciones a negocios u oficinas en el desarrollo de medidas específicas para sequías y planes de acciones directas.			x	x		
Limitar o reducir el lavado de vehículos.				x		
Eliminar o reducir la irrigación en parques y jardines.					x	x

MEDIDAS SECTOR RESIDENCIAL						
Medidas	**Medidas preventivas**	**D0 Anormalmente seco**	**D1 Moderada**	**D2 Severa**	**D3 Extraordinaria**	**D4 Excepcional**
Promover una cultura del uso eficiente y cuidado del agua en los hogares.	P					
Promover la siembra de especies nativas vegetales que requieren menos riego, etc.).	P					
Promover la instalación de dispositivos eficientes de agua en el hogar (lavabos, inodoros, lavadoras, etc.).	P					
Promover la identificación y reparación de fugas en los hogares.	P					
Promover el uso de aspersores para hacer más eficiente el riego.	P					
Realizar mantenimiento a la infraestructura hidráulica del hogar para reducir fugas (Errajes, llaves, etc.).		x	x	x		
Aplicar restricciones de riego en jardines particulares, regar durante temprano en la mañana o durante la tarde.				x	x	
Limitar o reducir el lavado de vehículos.				x		
Promover el uso de las aguas grises.					x	
Limitar el llenado de albercas.					x	
Racionar el consumo para actividades humanas (ej. Utilizar cubetas de agua).				x	x	x
Realizar una campaña de apoyo a los hogares para reparar fugas.				x	x	
Reducir la frecuencia del servicio de lavado de ropa.						x

MEDIDAS SECTOR COMERCIAL						
Medidas	**Medidas preventivas**	**D0 Anormalmente seco**	**D1 Moderada**	**D2 Severa**	**D3 Extraordinaria**	**D4 Excepcional**
Promover una cultura de riego eficiente.	P					
Concientizar al sector comercial en cuanto una cultura de uso eficiente y cuidado del agua dentro de los locales comerciales.	P					
Promover y aplicar la instalación de dispositivos eficientes de agua.	P					
Instalar dispositivos ahorradores de agua.	P					
Identificación y reparación de fugas.		x	x	x		
Restringir el riego de jardines.				x		
Promover que los edificios con aire acondicionado que usen agua eleven sus termostatos modestamente.				x		
Prohibir o limitar el lavado de autos y promover que los autolavados utilicen agua reciclada.				x		
Reutilización del agua (aguas tratadas, grises).					x	x
MEDIDAS SECTOR HOTELERO						
Medidas	**Medidas preventivas**	**D0 Anormalmente seco**	**D1 Moderada**	**D2 Severa**	**D3 Extraordinaria**	**D4 Excepcional**
Promover una cultura de riego eficiente.	P					
Instalación de aspersores para el riego.	P					
Regar temprano en la mañana o por la noche.			x	x		
Identificación y reparación de fugas.			x			
Reducir o prohibir el lavado de toallas y sábanas.				x	x	x
Prohibir o limitar el llenado de albercas.				x	x	x
Instalar dispositivos ahorradores de agua.				x		
Promover el uso de agua reciclada.				x		
Prohibir el riego de jardines.					x	x

MEDIDAS SECTOR INDUSTRIAL						
Medidas	**Medidas preventivas**	**D0 Anormalmente seco**	**D1 Moderada**	**D2 Severa**	**D3 Extraordinaria**	**D4 Excepcional**
Promover una cultura de riego eficiente.	P					
Instalación de aspersores para el riego.	P					
Regar temprano en la mañana o por la noche.		x	x			
Instalar dispositivos ahorradores de agua.			x	x	x	x
Identificación y reparación de fugas.			x	x	x	x
Prohibir o limitar el uso del agua en la construcción.				x	x	x
Reciclar aguas residuales.				x	x	x
Prohibir el riego de jardines.					x	x
Utilización de fuentes de abastecimiento extraordinarias (plantas desalinizadoras de hoteles).						x

Fuente: Elaboración propia.

10.5 Análisis para la gestión de la sequía

10.5.1 Definición operativa de la sequía

A continuación se presentan las estrategias de respuesta ante un evento de sequía en la ciudad de Cancún. Para cada etapa se indica el detonador que marcará su inició así como la acción de respuesta que se debe llevar a cabo para mantener a la población informada y el abasto de agua eficiente (Tabla 10.4).

Tabla 100.4. Estrategias de respuesta ante un evento de sequía en la ciudad de Cancún.

Etapa de la sequía	**Anormalmente seco (D0)**	**Sequía moderada (D1)**	**Sequía severa (D2)**	**Sequía extraordinaria (D3)**	**Excepcional (D4)**
Detonador	Comienza la sequía; la reducción en la oferta de agua es de 5 a 10% respecto a la demanda.	La disponibilidad de agua es de 10 al 20% respecto a la demanda.	La disponibilidad de agua es de 20 al 35% respecto a la demanda.	La disponibilidad de agua es de 35 al 50% respecto a la demanda.	La disponibilidad de agua es menor al 50% respecto a la demanda.
Meta de Respuesta	"El 80% de la población debe estar notificada de que ya estamos en 'riesgo' de que se presente la sequía"	"El 100% de la población debe estar notificada de que ya estamos en la etapa de sequía moderada. Reducción del consumo de agua en un 15% aplicando las estrategias correspondientes"	"Reducir el riesgo en zonas y sectores vulnerables. En donde aplique, reducción del consumo de agua en un 20% realizando las estrategias correspondientes"	"Abastecer la cantidad mínima requerida del recurso para los sectores más vulnerables. En donde aplique, reducir el consumo de agua en un 30% realizando las estrategias correspondientes"	"Abastecer la cantidad mínima requerida a todos los sectores"
Monitoreo de la sequía					
1. Preparar los decretos y documentación necesaria para aplicar las medidas en sequía	Preparar y difundir un boletín de alerta de la etapa de sequía y las medidas adecuadas a realizarse en la etapa	Preparar y difundir un boletín de alerta de la etapa de sequía y las medidas adecuadas a realizarse en la etapa	Preparar y difundir un boletín de alerta de la etapa de sequía y las medidas adecuadas a realizarse en la etapa	Preparar y difundir un boletín de alerta de la etapa de sequía y las medidas adecuadas a realizarse en la etapa	Preparar y difundir un boletín de alerta de la etapa de sequía y las medidas adecuadas a realizarse en la etapa

Fuente: Elaboración propia con base en el PMPMS de la Península de Yucatán.

10.5.2 Desencadenantes de la declaración de sequía

La sequía para la ciudad de Cancún se podría definir como un estado posible de sequía operativa, ya que debido a la naturaleza geográfica de la región, y su cercanía al acuífero, resulta difícil pensar que la disponibilidad de agua de las fuentes de extracción disminuya considerablemente. Sin embargo, un evento de sequía lo podrían originar eventos como fallas del sistema de suministro eléctrico o fenómenos naturales como huracanes y con menor probabilidad de ocurrencia se encuentran incendios en las zonas de captación, contaminación de las fuentes de abastecimiento, corte prolongado de energía eléctrica, daños en las líneas de conducción, intrusión salina, huelgas, accidentes y actos de terrorismo (Figura 10.1).

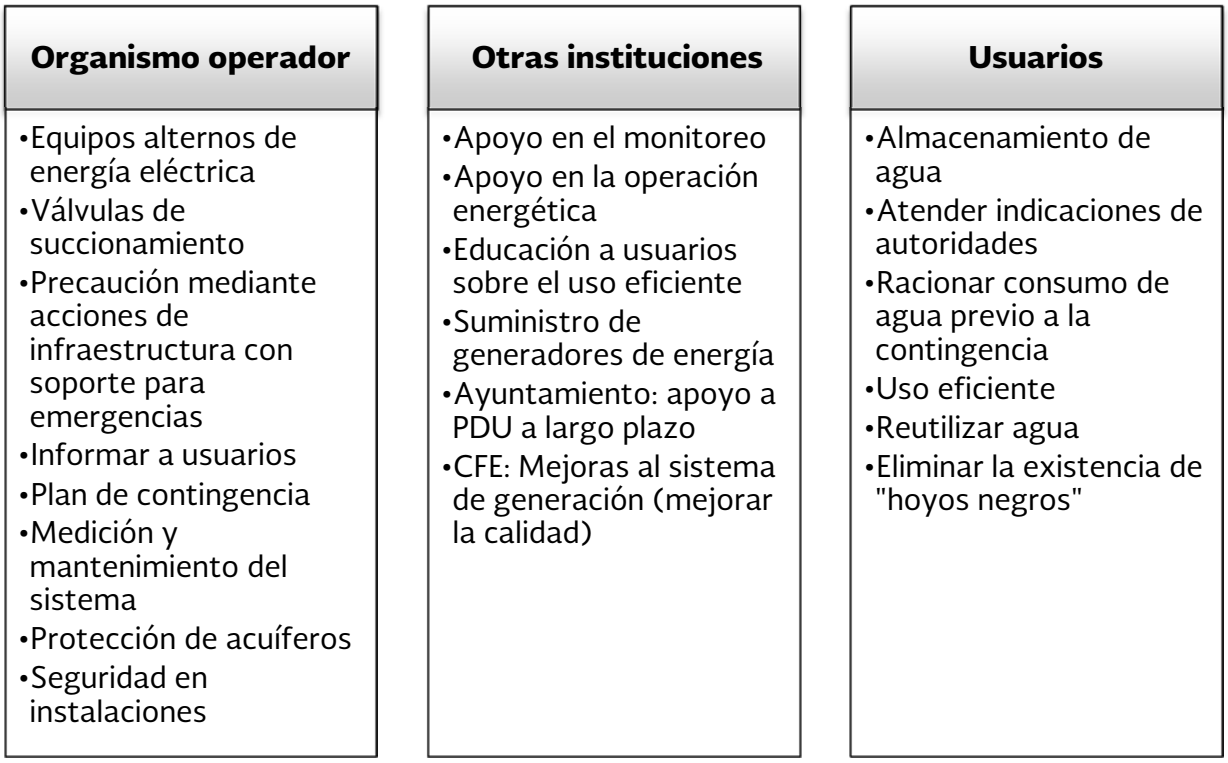
Figura 10.1. Factores que pueden desencadenar un evento de escasez de agua en la ciudad de Cancún.

Fuente: Elaboración propia.

10.5.3 Acciones para enfrentar la escasez de agua

Algunas de las acciones que los diferentes usuarios pueden realizar para prevenir un evento de sequía en la ciudad de Cancún son contar con un plan de contingencia, realizar campañas de cuidado y uso eficiente del agua, entre otras (Figura 10.2).

Figura 10.2. Acciones a realizar ante un escenario de escasez de agua en la ciudad de Cancún.



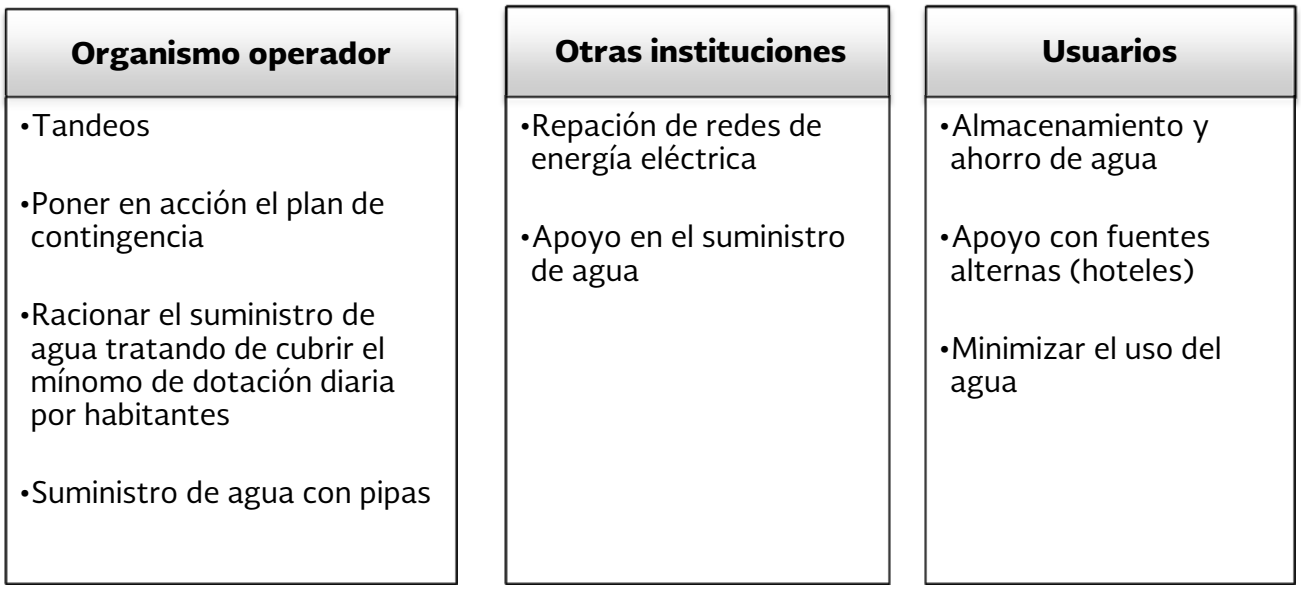
Fuente: Elaboración propia con información de la empresa AGUAKAN.

De acuerdo a la probable ocurrencia de una escasez de agua a causa de disminución en la precipitación, otras consideraciones a tomar en cuenta son:

- Es necesario estar alerta de niveles de precipitación por debajo de 50 mm en los meses de marzo abril que pueden desencadenar en eventos de sequía.
- De igual manera, por la naturaleza lluviosa de la ciudad, se sugiere alertar aquellos valores de precipitación de 0 mm en 1 mes completo.
- Las zonas con más riesgo se encuentran al interior de la ciudad, ya que la zona hotelera presenta menos problemas ante la escasez.
- Los asentamientos irregulares ubicados al sur de la ciudad representan la mayor zona de riesgo, debido al alto grado de marginación de su población.

Una vez que el fenómeno se hace presente en la ciudad de Cancún, es importante llevar a cabo medidas de mitigación como aplicar el plan de contingencia, aplicar tandeos y racionar el suministro de agua por parte del organismo operador, así como al almacenamiento y ahorro de la misma por parte de los usuarios (Figura 10.3).

Figura 10.3. Medidas de mitigación a seguir ante un escenario de escasez de agua en la ciudad de Cancún.



Fuente: Elaboración propia con información proporcionada por la empresa AGUAKAN.

Cabe mencionar que actualmente la concesionaria no se encuentra realizando ninguna acción enfocada en enfrentar la escasez de agua, ya que existe suficiente abasto, debido a la alta disponibilidad de agua en el acuífero. Para realizar un análisis más completo de la gestión de la sequía se realizó el siguiente protocolo que contiene las actividades a realizar, así como los responsables de llevar a cabo cada una de ellas. Su implementación permitirá prevenir y/o disminuir los posibles efectos de un evento de sequía sobre la ciudad de Cancún (Tabla 10.5).

Tabla 1.5. Protocolo de acción ante la presencia de un evento de sequía.

Momento de Acción	**Actividad**	**Productos**	**Observaciones**	**Realizará**
Enero	Revisar y analizar la información climática y determinar si hubo sequía o no, su duración y zonas afectadas.	Informe técnico.	De manera conjunta CAPA y CONAGUA deberán de conforman un grupo técnico que se responsabilice de realizar este análisis.	CAPA-CONAGUA
	Cuantificar y dar a conocer los efectos de la sequía en la ciudad de Cancún.	Oficio. Capsulas informativas.	Enviar oficio de notificación con las acciones de prevención sugeridas.	CONAGUA Presidente municipal de BJ AGUAKAN
Enero-Diciembre	Obtiene y revisa el Monitor de Sequía, y analiza e identifica el comienzo y desarrollo de la sequía a nivel ciudad.	Informe técnico.	Revisar el Monitor de Sequía cada 15 días y elaborar el informe técnico el mismo día que se tenga acceso al Monitor de Sequía.	CAPA-CONAGUA
Cuando se requiera	Realizar de campaña de información acerca de la sequía y de sensibilización sobre la conservación del agua.	Campaña publicitaria: spots de radio, prensa y televisión.	Difusión de campaña en diferentes medios de comunicación (considerar maya-hablantes).	CONAGUA CAPA AGUAKAN

Cuando se requiera	Notificar a los representantes de los usuarios de los diferentes sectores sobre el inicio o desarrollo de la sequía.	Acta de la asamblea.	Realizar una asamblea extraordinaria con los representantes de los diferentes sectores.	Consejo de Cuenca Consejo consultivo del gobierno municipal
Durante la sequía	Informar a los diferentes sectores de la etapa de sequía actual y las medidas de mitigación que se deben realizar.	Difusión a través de medios masivos de comunicación.	Apoyar en la realización de las medidas de mitigación.	Gobierno municipal AGUAKAN
Al finalizar la sequía	Realizar el recuento de los daños y evaluar la efectividad de las medidas de prevención y mitigación implementadas.	Informe técnico.	Realizar una asamblea extraordinaria con los Representantes de los diferentes sectores y el Consejo de Planeación.	CONAGUA, Consejo de Cuenca y Consejo de Planeación
Octubre-Diciembre	Programar la realización de medidas de prevención futuras.	Actualización del PMPMS.	Evaluación y modificación del PMPMS.	CONAGUA CAPA Consejo de Cuenca y Consejo de Planeación

Fuente: Elaboración propia con base en el PMPMS de la Península de Yucatán.

10.6 Procedimiento para la elaboración de un plan contingente (a nivel ciudad) para la mitigación de la sequía

Actualmente en la ciudad de Cancún existe un Manual de Procedimientos Específicos del Comité Operativo de Control de Riesgos y Crisis en caso de Huracán, el cual tiene por objeto mantener y garantizar la calidad del agua durante los periodos críticos en que el servicio presenta mayores riesgos de afectación, tales como:

- Periodo de secas.
- Período de huracanes.
- Situaciones extraordinarias.

Dicho documento contiene las diferentes etapas de impacto del fenómeno, las acciones a realizar, así como los actores y comités involucrados en cada una de ellas y sus responsabilidades asociadas. Este documento se actualiza cada año por parte de la empresa AGUAKAN y los empleados se encuentran capacitados para operar en caso de contingencia.

El organismo operador del agua potable en la ciudad de Cancún tiene la capacidad de reestablecer el servicio a más tardar a los tres días después de una contingencia, por lo que ante un evento de sequía operativa, esta no alcanzaría niveles altos o extremos y solo se llegaría a presentar hasta una sequía moderada.

Cabe señalar que en el año 2005 se desarrolló un Manual de Acciones de Prevención de Emergencias y Control de Riesgos por la empresa AGUAKAN, cuyo contenido abarca diferentes aspectos como el manejo de las crisis, plan de prevención y emergencias, simulacros, acciones de prevención y emergencia, brigadas para el control de riesgos, legislación aplicable entre otros. Sin embargo, éste documento no se ha actualizado desde entones. Se propone que se realice la actualización de este documento e incluir el fenómeno de la sequía en él.

10.7 Plan contingente de mitigación de la sequía

Para prevenir un evento de sequía, un Plan Contingente para la Mitigación de la Sequía deberá de tomar en cuenta la participación de diversos actores que pueden resultar directa o indirectamente relacionados con el fenómeno en la ciudad de Cancún. Se proponen reuniones de planeación, ejecución, así como informativas que contribuyan al desarrollo de acciones específicas para cada sector en relación con el PMPMS de la ciudad entre miembros de diversos sectores, mismos que se presentan en la tabla 10.6.

Se consideraron diversos sectores como estudios de calidad del agua, aspectos del medio ambiente, protección contra incendios, los sectores industrial, comercial y hotelero, comunicaciones, energía y sector gobierno.

Tabla 10.6. Sectores involucrados en el PMPMS de la ciudad de Cancún.

Sector	Actores involucrados
Estudios de calidad del agua	Academia AGUAKAN CONAGUA SESA COFEPRIS
Aspectos del medio ambiente	SEMARNAT PROFEPA SAGARPA
Protección contra incendios	CONAFOR Protección civil (Municipal, estatal) Equivalente sector agrícola estatal
Sector industrial	Cámara de la industria Representantes sector industrial CANADEVI
Sector hotelero	Asociación de hoteles de Cancún Representantes sector recreativo FONATUR
Sector comercial	Cámara de comercio Representantes del sector comercial y de servicios Coalición de Permisionarios de carros pipa
Comunicaciones	SEMAR (Navegación) SCT (Vías terrestres y aéreas) ASUR
Energía	Comisión Federal de Electricidad
Autoridades estatales o municipales	Comunicación social Dirección de turismo y relaciones públicas. Dirección de participación ciudadana Dirección de desarrollo urbano Servicios Estatales de Salud

Fuente: Elaboración propia y con información proporcionada por la empresa AGUAKAN.

Para un Plan Contingente de Mitigación de la Sequía se deberá contar con un comité operativo, el cual puede ser muy similar al que ya existe actualmente para el caso de huracanes y se presenta en el Manual de Procedimientos. A continuación se

presentan los principales comandos que se requerirían en caso de una sequía operativa en la ciudad (Tabla 10.7).

Tabla 10.7. Comando de emergencia y representantes del comité operativo de mitigación a la sequía.

Comandos de emergencia	**Representantes del comando**
Comando general	Ing. Manuel Torres Ing. Roberto E. Robles
Comando general técnico	Ing. Carlos Broggi
Coordinador general de la comisión de evaluación técnica de la infraestructura y resguardo de obras	Ing. Cesar Espinoza Rodríguez
Coordinador del comité de resguardo de obras y apoyo al comité municipal de protección civil	Ing. Julio González Rodríguez
Coordinador de la comisión de evaluación técnica de la infraestructura	Ing. Víctor Cruz Delgado
Comando Administrativo	C.P. Jorge Guerrero Escandón
Comité de Logística	Ing. Joseles Ismael Poot Peniche
Comité de rehabilitación de distribución de agua en bloque	Ing. Carlos David Chel Tun
Comité de control de calidad del agua	Q. José Bentura Díaz Castillo
Comité de rehabilitación y saneamiento	Ing. Rubén Rodríguez Ávalos
Comité de comunicación y atención a la sociedad	Lic. Gastón Borda
Comité de seguridad industrial	Ing. Andrés Castañeda

Fuente: Elaboración propia con datos del Manual de Procedimientos de AGUAKAN.

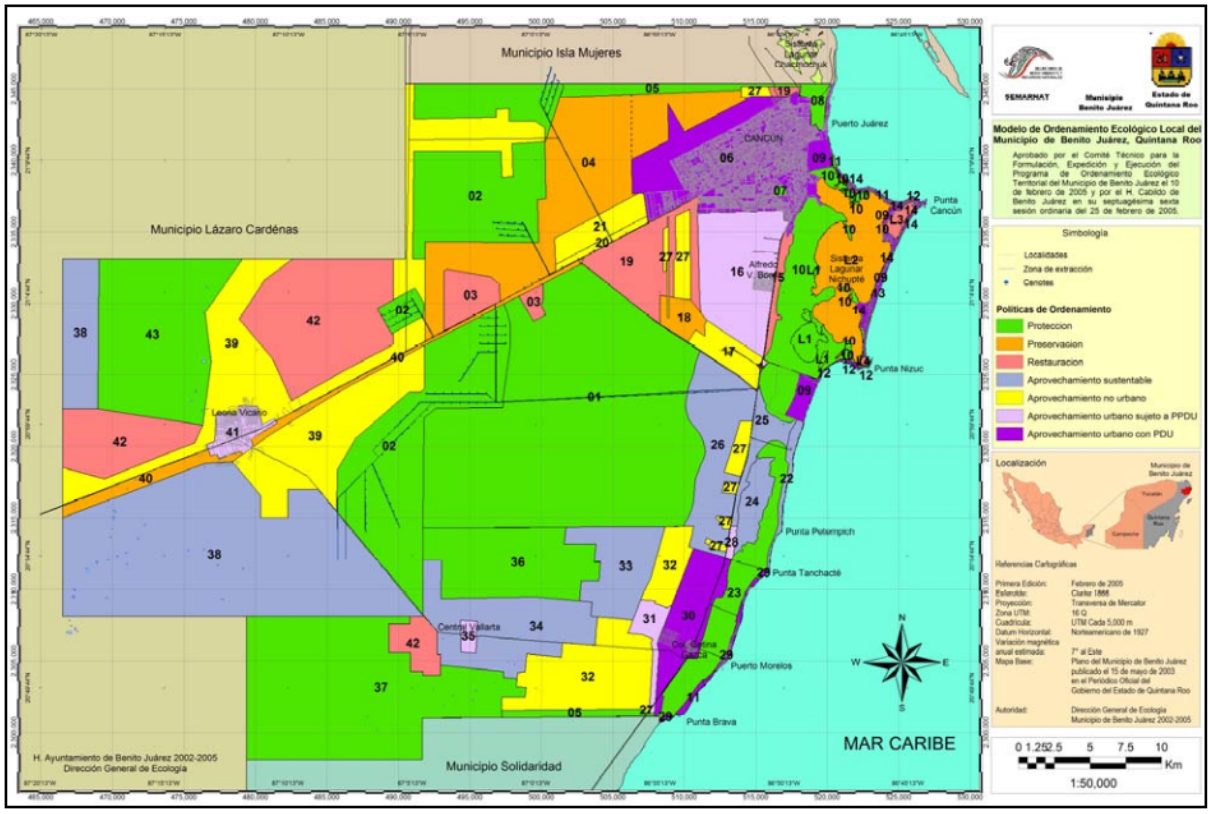
10.8 Zonas de reserva de agua

La parte norte del municipio de Benito Juárez representa una zona de reserva de agua debido a la ausencia de asentamientos humanos, ya que el flujo del agua subterránea corre de sur a norte, por lo que en un evento de sequía se podría obtener agua de buena calidad de esta zona aledaña a la ciudad de Cancún.

Adicionalmente en el Manual de procedimientos se presenta un acuerdo en donde se solicitará a los hoteleros para brindar sus grandes cisternas como reserva estratégica en caso de un corte prolongado de suministro por causas naturales.

El Programa de Ordenamiento Ecológico del municipio de Benito Juárez del año 2005, establece como unidades de gestión ambiental sujetas a protección, diversas zonas de municipio en donde se extrae agua potable, una de ellas es la UGA No. 2 que se localiza al noreste de la ciudad y se encuentra bajo una política de protección, y la UGA No. 3 que se ubica al sur de la anterior pegada a la carretera federal en donde se encuentran asentamiento suburbanos en la zona de extracción de agua que se encuentra dentro del ordenamiento como zona de restauración (Figura 10.4).

Figura 10.4. Mapa del modelo de ordenamiento ecológico local del municipio de Benito Juárez.



Fuente: POELMBJ, 2005.

Adicionalmente en la actualización del Programa de Ordenamiento se establecieron zonas de protección alrededor de las áreas en donde se extrae agua. Se presentan en el mapa de la figura 10.5 en color azul cielo, y también se expone un polígono de reserva de recarga del agua ilustrado en color azul más fuerte en la misma figura.

Figura 10.5. Áreas de protección del agua en Benito Juárez.

Fuente: POELMBJ, 2013.

10.9 Planeación del PMPMS de la ciudad de Cancún

Para una correcta planeación de un Programa de Medidas Preventivas y de Mitigación de la Sequía para la ciudad de Cancún, primero es necesario contar con un comité técnico interinstitucional que puede estar constituido por los consultores contratados por los organismos de cuenca, pero también debe contar con la participación y cooperación de los organismos operadores de agua potable, así como de las entidades pertinentes del gobierno del Estado. En un taller se debe integrar un borrador del PMPMS de la ciudad que contenga principalmente los siguientes temas:

a. Información climática de la ciudad o municipio.

b. Información histórica la infraestructura y el abasto y producción agua para el sistema urbano.

c. Información histórica sobre los patrones de demanda y consumo de agua en la ciudad.

d. Balance hídrico y propuesta de mejoras y medidas de mitigación de sequía.

En segunda instancia se publicaría este documento de trabajo o versión preliminar del PMPMS de la ciudad o municipio y se pondría a la discusión de la comunidad. Para ello se recomienda definir un período de deliberación con sesiones de preguntas y respuestas, para recibir propuestas, comentarios y cuestionamientos sobre el documento.

Tercero, se requiere la elaboración de un nuevo PMPMS oficial que integre los cambios y propuestas y la integración de un Comité encargado de la aplicación e implementación del Programa. Este comité deberá incluir a los diversos sectores de la sociedad o bien podrá coincidir con alguno de los comités ya existentes en materia de agua.

Tabla 10.8. Cuadro de planeación para la elaboración del PMPMS de la ciudad de Cancún.

	Objetivo	**Acciones propuestas**	**Actores involucrados**
Paso 1	Establecer junto con las partes interesadas un equipo de planificación de escasez de agua.	Realizar reuniones con el organismo operador del agua y el consejo consultivo del agua para identificar posibles responsabilidades antes y durante la ejecución del PMPMS. Específicamente: -Identificar actores dentro del consejo consultivo del agua y establecer un equipo. -Se realizó una reunión con el organismo operador AGUAKAN y la CAPA para presentar al equipo de trabajo y los objetivos del PMPMS de la ciudad de Cancún. -Se realizará una reunión para exponer avances en el desarrollo del PMPMS con AGUAKAN y CAPA, y gestionar los datos para la finalización de la elaboración del mismo.	CAPA Consejo Consultivo AGUAKAN Gobierno municipal
Paso 2	Realizar un pronóstico de suministros en relación con la demanda ante posibles eventos de sequía.	Evaluar acciones pasadas en materia de sequía para pronosticar eventos futuros. Particularmente: -Con base al Índice de Precipitación Estandarizado se elaboraron mapas de sequía meteorológica del 2008 a la fecha. Se evaluarán y proyectarán los datos de SPI a escenarios de años futuros. -Se conoce que la empresa DHC-AGUAKAN tiene un sistema de multas y sanciones por pagos extemporáneos, desperdicio de agua, daño a los medidores, uso de mecanismos para succión de agua de las tuberías, conectarse a la red de alcantarillado, entre otras.	CONAGUA Consultores de PRONACOSE AGUAKAN
Paso 3	Equilibrar la oferta y la demanda.	Desarrollar una campaña de información pública en medios de comunicación locales para dar a conocer medidas preventivas y correctivas ante la escasez de agua. Particularmente: -Lanzar una campaña informativa por parte de la empresa AGUAKAN para difundir estas acciones.	Medios de comunicación locales AGUAKAN

Paso 4	Definir mecanismos y plazos de activación y mitigación de la sequía.	Actividades de sensibilización ante los impactos de una sequía. Particularmente: -Llevar a cabo una campaña de sensibilización en la población en general y en los consejos consultivos de agua y medio ambiente para dar a conocer los posibles efectos de una sequía en la ciudad.	Gobierno municipal CAPA AGUAKAN CONAGUA
Paso 5	Desarrollar una demanda por etapas de la sequía.	Establecer acciones de vigilancia antes la posible llegada de la sequía y definir esfuerzos de respuesta. Particularmente: -Pronosticar la posible demanda para años futuros ante un evento de sequía y establecer un programa de respuesta junto con los actores involucrados.	CONAGUA Consultores de PRONACOSE Consejo consultivo
Paso 6	Contar con un plan de contingencia.	Definir medidas de cooperación para cada etapa de la sequía. Ej. Intercambio de volúmenes de agua en emergencia con ciudades vecinas.	CAPA CONAGUA Gobierno municipal
Paso 7	Implementar el plan de contingencia de escasez de agua.	Ejecutar el plan de gestión que incluye la elaboración de un plan de acción para: mitigación, monitoreo de indicadores de sequía, protocolo de declaración de sequía, ejecución de la puesta en escena, ingresos derivados de la planificación y el seguimiento de los esfuerzos de respuesta. Particularmente: -Desarrollar este plan de gestión junto con el organismo operador, la CAPA y el consejo consultivo para establecer responsabilidades de cada uno.	CAPA CONAGUA
Revisión del plan y actualizaciones	Establecer procesos formales para revisar, aprobar y actualizar el plan de gestión de la sequía cada 3 años.	-Foro de difusión y revisión pública, con actores clave y dentro de las instituciones relacionadas Reuniones e intercambio de información durante tres años con la empresa AGUAKAN para la actualización del plan de gestión de la sequía.	AGUAKAN CAPA CONAGUA Consultores de PRONACOSE

Fuente: Elaboración propia.

RECOMENDACIONES PARA LA DIFUSIÓN DEL PMPMS

Finalmente una vez concluido el Programa de Medidas Preventivas y de Mitigación de la Sequía de la ciudad de Cancún, 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 Cancún dentro de los Consejos de Cuenca regionales, así como entre otros foros de diversos sectores en la ciudad de Cancún. Es deseable dar a conocer dicho programa entre funcionarios de las dependencias públicas, así como entre la sociedad en general.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos la apertura, participación y colaboración para proporcionar la información solicitada a las siguientes personas: a la Lic. Paula González Cetina, Directora de la Comisión de Agua Potable y Alcantarillado (CAPA), al Ing. Manuel Torres Muñoz, Delegado de la CAPA en la Zona Norte del Estado de Quintana Roo, al Ing, Roberto Robles, Director de la consecionaria DHC-AGUAKAN, al Ing. César Espinoza Rodriguez, Gerente de Proyectos Especiales de DHC-AGUAKAN, al Ing. Jorge Santana de la CAPA Zona Norte del Estado de Quintana Roo, al. Ing. José Luis Acosta Rodriguez, Director técnico del Organismo de Cuenca Península de Yucatán de la CONAGUA, al. Ing. Sergio Peña Fierro del Organismo de Cuenca Península de Yucatán de la CONAGUA, al. Ing. Francisco Arguelles del Organismo de Cuenca Península de Yucatán de la CONAGUA y al. Ing. Gary Ortegón del Organismo de Cuenca Península de Yucatán de la CONAGUA.

BIBLIOGRAFÍA

ANIDE (Academia Nacional de Investigación y Desarrollo A.C.) (2013). Estudio de la vulnerabilidad y programa de adaptación ante la variabilidad climática y el cambio climático en diez destinos turísticos estratégicos, así como propuesta de un sistema de alerta temprana a eventos hidrometeorológicos extremos: Sección 3, vulnerabilidad del destino turístico Cancún. Secretaria de Turismo (SECTUR), Centro de Estudios Superiores en Turismo (CESTUR), Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT). Disponible en http://www.sectur.gob.mx/wp-content/uploads/2014/09/SECCION-III.-CANCUN.pdf. Consultado el 3 de octubre de 2014.

Bitrán D (1999). México: Inversiones En El Sector Agua, Alcantarillado Y Saneamiento. Proyecto Crecimiento, empleo y equidad: América Latina en los años noventa. (HOL/97/6034).

Campos Cámara BL (2011). Presión turística y urbanística: vulnerables al cambio climático en el caribe mexicano. Quivera 13 (2) pp 1-13, México.

CCA (Consejo Consultivo del Agua) (2011). Gestión del agua en las ciudades de México, Indicadores de desempeño de los sistemas de agua potable, saneamiento y alcantarillado. Segundo Reporte del Consejo Consultivo del Agua. México.

CENAPRED (Centro Nacional de Prevención de Desastres) (2014). Atlas Nacional de Riesgo. Secretaría de Gobernación. Disponible en http://www.atlasnacionalderiesgos.gob.mx/index.php/riesgos-hidrometeorologicos/sequias. Consultado el 23 de septiembre de 2014.

CNA (Comisión Nacional del Agua) (1991). Saneamiento del acuífero subyacente a la ciudad de Cancún y del sistema Lagunar de Nichupté, Cancún, Q. Roo. México.

CNA (Comisión Nacional del Agua) (1992). Estudio de calidad del Agua del Sistema Lagunar Nichupté, Quintana Roo. México.

CNA (Comisión Nacional del Agua) (2003.) Ficha técnica 2003 de la ciudad de Cancún.

CNA (Comisión Nacional del Agua) (2004). Guía para el llenado de la ficha técnica.

Cody K, Hayes M y Philips T (1998). How to reduce drought risk. Ed. Western Drought Coordination Council.

Collado Vides L y González González J (1995). Patrones de distribución ficoflorística en el sistema lagunar de Nichupté, Quintana Roo, México. Facultad de Ciencias UNAM. *Acta Botánica Mexicana* 31: 19-32. México.

CONAGUA (Comisión Nacional del Agua) (2005). Inventario Nacional de Plantas Municipales de Potabilización y de Tratamiento de Aguas Residuales en Operación. México.

CONAGUA (Comisión Nacional del Agua) (2006a). Inventario Nacional de Plantas Municipales de Potabilización y de Tratamiento de Aguas Residuales en Operación. México.

CONAGUA (Comisión Nacional del Agua) (2006b). Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). México

CONAGUA (Comisión Nacional del Agua) (2007a). Inventario Nacional de Plantas Municipales de Potabilización y de Tratamiento de Aguas Residuales en Operación. México.

CONAGUA (Comisión Nacional del Agua) (2007b). Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). México

CONAGUA (Comisión Nacional del Agua) (2008). Problemática del acuífero Península de Yucatán y acciones requeridas para su conservación. Citado en: IMTA (Instituto Mexicano de la Tecnología del Agua). (2011). Plan rector en materia de agua para la protección, conservación y recuperación ambiental de la Península de Yucatán. Diagnóstico e identificación de retos y problemas,

estrategias, objetivos, acciones y proyectos prioritarios. García, N. (Editor). México. Pp. 1897.

CONAGUA (Comisión Nacional del Agua) (2008). Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). México

CONAGUA (Comisión Nacional del Agua) (2009). Inventario Nacional de Plantas Municipales de Potabilización y de Tratamiento de Aguas Residuales en Operación. México.

CONAGUA (Comisión Nacional del Agua) (2010a). Inventario Nacional de Plantas Municipales de Potabilización y de Tratamiento de Aguas Residuales en Operación. México.

CONAGUA (Comisión Nacional del Agua) (2010b). Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). México

CONAGUA (Comisión Nacional del Agua) (2011a). Inventario Nacional de Plantas Municipales de Potabilización y de Tratamiento de Aguas Residuales en Operación. México.

CONAGUA (Comisión Nacional del Agua) (2011b).Programa de Saneamiento de Aguas Residuales (PROSANEAR) para contribuyentes municipales. Disponible en http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/SGAPDS-16-11.pdf. Consultado el 22 de septiembre de 2014.

CONAGUA (Comisión Nacional del Agua) (2011c). Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). México

CONAGUA (Comisión Nacional del Agua) (2012a). Atlas del agua en México. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) (Editor). México. 142pp.

CONAGUA (Comisión Nacional del Agua) (2012b). Estadísticas del agua en México. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Editor). México. 252pp.

CONAGUA (Comisión Nacional del Agua) (2012c). Inventario Nacional de Plantas Municipales de Potabilización y de Tratamiento de Aguas Residuales en Operación. México.

CONAGUA (Comisión Nacional del Agua) (2012d). Programa para la Modernización de Organismos Operadores de Agua (PROMAGUA). Disponible en http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/DescripcionprogramaPROMAGUA2012.pdf. Consultado el 22 de septiembre de 2014.

CONAGUA (Comisión Nacional del Agua) (2012e). Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) (Editor). México. 139 pp.

CONAGUA (Comisión Nacional del Agua) (2013a). Estadísticas del Agua en México

CONAGUA (Comisión Nacional del Agua) (2013b). Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). México

CONAGUA (Comisión Nacional del Agua) (2014a). Datos De Publicación En El Diario Oficial De La Federación De Normas Mexicanas De Competencia De La Comisión Nacional Del Agua, Vigentes. Comité Técnico De Normalización Nacional De Medio Ambiente Y Recursos Naturales. Disponible en http://www.conagua.gob.mx/conagua07/Contenido/Documentos/Listado%20NMX%20con%20vigencia.pdf. Consultado el 2 de septiembre de 2014.

CONAGUA (Comisión Nacional del Agua) (2014b). Manual de operación y procedimientos del Programa de Agua Limpia S047. Disponible en http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/ManualAguaLimpiaFed2014-250214.pdf. Consultado el 22 de septiembre de 2014.

CONAGUA (Comisión Nacional del Agua) (2014c). Programa de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento en Zonas Urbanas (APAZU). Disponible en

http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/MANUALDEOPERACI%C3%93NYPROCEDIMIENTOSAPAZU2014DEFINITIVO1902414.pdf. Consultado el 22 de septiembre de 2014.

CONAGUA (Comisión Nacional del Agua) (2014d). Programa de Devolución de Derechos (PRODDER). Disponible en http://www.cna.gob.mx/Contenido.aspx?n1=4&n2=24&n3=31. Consultado el 23 de septiembre de 2014.

CONAGUA (Comisión Nacional del Agua) (2014e). Programa de Tratamiento de Aguas Residuales (PROTAR). Disponible en http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/MANUALPROTAR2014DEFINITIVO.pdf. Consultado el 22 de septiembre de 2014.

CONAGUA (Comisión Nacional del Agua) (2014f). Programa para la Sostenibilidad de los Servicios de Agua Potable y Saneamiento en Comunidades Rurales IV (PROSSAPYS IV) Manual de Operación y procedimientos. Disponible en http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/MOP_PROSSAPYS_2014.pdf. Consultado el 22 de septiembre de 2014.

CONAGUA (Comisión Nacional del Agua), (2013b). Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). México

CONAPO (Consejo Nacional de Población) (2010a). Índice de marginación por entidad federativa y municipio 2010. Consejo Nacional de Población Disponible en http://www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/Indices_de_Marginacion_2010_por_entidad_federativa_y_municipio. Consultado el 23 de septiembre de 2014.

CONAPO (Consejo Nacional de Población) (2010b). Proyecciones de la población 2010-2050. Disponible en http://www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/Proyecciones.

CONAPO (Consejo Nacional de Población) (2014). Índice de Desarrollo Humano Municipal en México: nuevo metodología. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). Disponible en http://www.mx.undp.org/content/dam/mexico/docs/Publicaciones/PublicacionesReduccionPobreza/InformesDesarrolloHumano/UNDP-MX-PovRed-IDHmunicipalMexico-032014.pdf. Consultado el 23 de septiembre de 2014.

Conde M (2014). Sufren clientes de AGUAKAN al pagar el servicio. En: La Verdad Quintana Roo. Portada 21 de Marzo de 2014. Disponible en http://laverdadnoticias.com/sufren-clientes-de-aguakan-al-pagar-servicio/369865/. Consultado el 3 de octubre de 2014.

CONEVAL (Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social) (2010). Pobreza a nivel municipal 2010. Disponible en http://www.coneval.gob.mx/Medicion/Paginas/Medici%C3%B3n/Medicion-de-la-pobreza-municipal-2010.aspx. Consultado el 23 de septiembre de 2014.

DHC-AGUAKAN (Desarrollos Hidráulicos de Cancún) (2011). Informe Anual 2009-2010. Disponible en: http://www.aguakan.com/nav/empresa/informesinstitucionales.html. Consultado el 2 de septiembre de 2014.

DHC-AGUAKAN (Desarrollos Hidráulicos de Cancún) (2012). Informe Anual 2010-2011. Disponible en http://www.aguakan.com/nav/empresa/informesinstitucionales.html. Consultado el 2 de septiembre de 2014.

DHC-AGUAKAN (Desarrollos Hidráulicos de Cancún) (2014). Informe Anual 2012-2013. Disponible en: http://www.aguakan.com/nav/empresa/informesinstitucionales.html. Consultado el 2 de septiembre de 2014.

DOF (Diario Oficial de la Federación) (1990). Ley de Contribución de Mejoras por Obras Públicas Federales de Infraestructura Hidráulica. Cámara de diputados del H. Congreso de la Unión. México.

DOF (Diario Oficial de la Federación) (1995). NOM-117-SSA1-1994. 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. Cámara de diputados del H. Congreso de la Unión. México.

DOF (Diario Oficial de la Federación) (1996a). NOM-002-CNA-1995, Toma domiciliaria para abastecimiento de agua potable-Especificaciones y métodos de prueba. Cámara de diputados del H. Congreso de la Unión. México.

DOF (Diario Oficial de la Federación) (1996b). NOM-004-CNA-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. Cámara de diputados del H. Congreso de la Unión. México.

DOF (Diario Oficial de la Federación) (1996c). 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. Cámara de diputados del H. Congreso de la Unión. México.

DOF (Diario Oficial de la Federación) (1997a). NOM-001-SEMARNAT-1996. Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. Cámara de diputados del H. Congreso de la Unión. México.

DOF (Diario Oficial de la Federación) (1997b). NOM-003-CNA-1996. Requisitos durante la construcción de pozos de extracción de agua para prevenir la contaminación de acuíferos. Cámara de diputados del H. Congreso de la Unión. México.

DOF (Diario Oficial de la Federación) (1998a). NOM-002-SEMARNAT-1996. Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado. Cámara de diputados del H. Congreso de la Unión. México.

DOF (Diario Oficial de la Federación) (1998b). NOM-003-SEMARNAT-1997. Establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se re usen en servicios al público. Cámara de diputados del H. Congreso de la Unión. México.

DOF (Diario Oficial de la Federación) (1999a). Decreto por el que se declara área natural protegida la región denominada Laguna Manatí, con la categoría de Zona Sujeta a Conservación Ecológica, ubicada en el municipio de Benito Juárez, Quintana Roo. Cámara de diputados del H. Congreso de la Unión. México. México.

DOF (Diario Oficial de la Federación) (1999b). Decreto por el que se declara área natural protegida la región denominada Sistema Lagunar Chacmochuch, con la categoría de Zona Sujeta a Conservación Ecológica, Refugio Estatal de Flora y Fauna, ubicada en los municipios de Benito Juárez e Isla Mujeres, Quintana Roo. Cámara de diputados del H. Congreso de la Unión. México. México.

DOF (Diario Oficial de la Federación) (1999c). NOM-179-SSA1-1998. Vigilancia y evaluación del control de calidad del agua para uso y consumo humano, distribuida por sistemas de abastecimiento público. Cámara de diputados del H. Congreso de la Unión. México.

DOF (Diario Oficial de la Federación) (2000). 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. Cámara de diputados del H. Congreso de la Unión. México

DOF (Diario Oficial de la Federación) (2001). NOM-011-CNA-2000. Conservación del recurso agua-Que establece las especificaciones y el método para

determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales. Cámara de diputados del H. Congreso de la Unión. México.

DOF (Diario Oficial de la Federación) (2003a). NOM-004-SEMARNAT-2002. Protección ambiental.- Lodos y biosólidos.-Especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final. Cámara de diputados del H. Congreso de la Unión. México.

DOF (Diario Oficial de la Federación) (2003b). 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. Cámara de diputados del H. Congreso de la Unión. México.

DOF (Diario Oficial de la Federación) (2008a). NOM-014-CONAGUA-2003. Requisitos para la recarga artificial de acuíferos con agua residual tratada. Cámara de diputados del H. Congreso de la Unión. México.

DOF (Diario Oficial de la Federación) (2008b). NOM-015-CONAGUA-2007. Infiltración artificial de agua a los acuíferos.-Características y especificaciones de las obras y del agua. Cámara de diputados del H. Congreso de la Unión. México

DOF (Diario Oficial de la Federación) (2012a). Acuerdo por el que se instruyen acciones para mitigar los efectos de la sequía que atraviesan diversas entidades federativas.

DOF (Diario Oficial de la Federación) (2012b). Ley General de Cambio Climático. Cámara de diputados del H. Congreso de la Unión. México.

DOF (Diario Oficial de la Federación) (2012c). 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. México.

DOF (Diario Oficial de la Federación) (2012d). NOM-001-CONAGUA-2011. Sistemas de agua potable, toma domiciliaria y alcantarillado sanitario-Hermeticidad-Especificaciones y métodos de prueba. Cámara de diputados del H. Congreso de la Unión. México.

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. Cámara de diputados del H. Congreso de la Unión. México.

DOF (Diario Oficial de la Federación) (2013b). Ley de Aguas Nacionales. Cámara de diputados del H. Congreso de la Unión. México.

DOF (Diario Oficial de la Federación) (2014). Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos. Cámara de diputados del H. Congreso de la Unión. México

ENCC (Estrategia Nacional de Cambio Climático) (2013). Visión 10-20-40. Gobierno de la República. México.

Estrela Monreal T (2006). La gestión de las sequías en España. I.T. 74, pp 52-57. España.

EXYCO S.A. (1989). Estudio de exploración geohidrológica en la región costera nororiental del estado de Quintana Roo (zona Cancún-Tulum-Coba) y estudios hidrogeoquímicos y piezométricos en la región costera del Estado de Quintana Roo. México.

García PA (2006). Sequías: Teoría y Prácticas. UPV. Valencia, España.

García-Gil G y J Sosa-Escalante (editores) (2012). Ordenamiento Territorial del Estado de Yucatán: Visión 2030. Universidad Autónoma de Yucatán, Mérida, México.

García-Gil G, Castillo-Caamal J, Huchin-Malta W, Estrada-Medina H, Salazar-Gómez V, Pérez-Pérez JR, Javier-Ortíz J y Tun-Garrido J (2013). Geosistemas. En García-Gil, G. y Sosa-Escalante, J. (Eds.) Ordenamiento Territorial del Estado de Yucatán: Visión 2030 (pp. 3-33). Mérida: Yucatán, México

Granel Castro E y Gález Hita L (2002). Deterioro de la calidad del agua por el desarrollo poblacional: Cancún, Q. Roo. *Ingeniería* 6:3 41-53pp.

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.

Guzmán J J (2003). Ficha técnica documento de evaluación a la Comisión de Agua Potable y Alcantarillado de la ciudad de Cancún.

H. Ayuntamiento de Benito Juárez 2013-2016. Normatividad Municipal. Disponible en http://cancun.gob.mx/transparencia/informacionpublica/reglamentos-municipales-2/. Consultado el 2 de septiembre de 2014.

H. Ayuntamiento de Benito Juárez 2013-2016. Programas Sectoriales 2013-2016. Disponible en http://cancun.gob.mx/archivos_pdf/Presidencia/PROGRAMASECTORIALES.pdf consultado el 19 de septiembre de 2014.

IMPLAN (Instituto de Planeación de Desarrollo Urbano Municipio de Benito Juárez) (2014). Proyecto Estratégico: Protección zonas de extracción y captación de agua potable. Disponible en http://www.implancancun.gob.mx/ . Consultado el 19 de septiembre de 2014.

IMTA (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua) (2007). Efectos del cambio climático en los recursos hídricos de México. Gaceta del Agua No. 7. México. Disponible en https://www.imta.gob.mx/gaceta/anteriores/g07-11-2007/gaceta-imta-07.pdf. Consultado el 30 de septiembre de 2014.

INAFED (Instituto para el Federalismo y el Desarrollo Municipal) SEGOB (Secretaria de Gobernación) (2010). Enciclopedia de Los Municipios y Delegaciones de México. Estado de Quintana Roo. Disponible en http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM23quintanaroo/index.html

INAH (Instituto Nacional de Antropología e Historia) (2014). Red de Zonas Arqueológicas. Disponible en http://www.inah.gob.mx/zonas-arqueologicas.

INE (Instituto Nacional de Ecología) (1998). Programa de manejo Parque Marino Nacional Costa Occidental de Isla Mujeres, Punta Cancún y Punta Nizuc. México. Disponible en http://www.inecc.gob.mx/descargas/publicaciones/173.pdf.

INEGI (Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática) (2010a). Censo de Población y Vivienda 2010. Disponible en http://www.inegi.org.mx/. Consultado el 23 de septiembre de 2014.

INEGI (Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática) (2012b). Perspectiva Estadística de Quintana Roo. México

INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía) (2010b). Censo de población y vivienda. Principales resultados por localidad: Quintana Roo. Disponible en http://www.inegi.org.mx/sistemas/consulta_resultados/iter2010.aspx?c=27329&s=est. Consultado el 8 de septiembre de 2014.

INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía) (2012a). Anuario de estadísticas por entidad federativa. México.

INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía) (2013a). Anuario estadístico y geográfico por entidad federativa 2013. Disponible en http://www.inegi.org.mx/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/integracion/pais/aepef/2013/aegpef_2013.pdf

INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía) (2013b). Estadística básica sobre medio ambiente datos de Quinta Roo. Boletín de prensa núm. 146/13. Quintana Roo. 1pp.

INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática) (2013c). Sistema Estatal y Municipal de Base de Datos (SIMBAD). Disponible en: http://sc.inegi.org.mx. Consultado el 23 de septiembre de 2014.

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

Lesser y Asoc. S.A. (1992). Estudio para determinar los aportes de agua subterránea al proyecto del Río en Malecón, Cancún, Q. Roo. México.

Marcos Valiente O (2001). Sequía: definiciones, tipologías y métodos de cuantificación. Investigaciones geográficas No.26.

Márdero S, Schneider L, Rogan J, Christman Z y Lawrence D (2012). Sequías en el sur de la Península de Yucatán: análisis de la variabilidad anual y estacional de la precipitación. Investigaciones Geográficas. Boletín del Instituto de Geografía. UNAM. Núm. 78, pp. 19-33.

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.

Mijangos O (2013). Cuencas. Fondo para la comunicación y educación ambiental A.C., Fundación Gonzalo Río Arronte, I.A.P. Centro Virtual de Información del Agua. Disponible e http://www.agua.org.mx/index.php/biblioteca-tematica/manejo-de-cuencas/1584-peninsula-de-yucatan/27982-cancun-mas-de-25-mil-menores-carecen-de-agua-potable . Consultado el 1 de octubre de 2012.

Montero MJ y Pérez JL (2008). Regionalización de proyecciones climáticas en México de precipitación y temperatura en superficie usando el método REA para el siglo XXI. En: P. Martínez y Aguilar A (eds). Efectos del Cambio Climático en los Recursos Hídricos de México. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Jiutepec, Mor. pp: 11–21.

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.

OMS (Organización Mundial de la Salud) (2003). Cambio climático y salud humana: riesgos y respuestas: Resumen. OMM (Organización Meteorológica Mundial), PNUMA (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente). Disponible en http://whqlibdoc.who.int/publications/2003/9243590812.pdf. Consultado el 28 de septiembre de 2014.

OMT (Organización Mundial del Turismo) (2007). Cambio climático y turismo, responder a los retos mundiales. Madrid

Ordóñez-Cervantes JF (2011). Estudio para la actualización del Programa de Desarrollo Urbano del centro de población de Cancún. Parte 1. SEDESOL. IMPLAN. Municipio de Benito Juárez. Gobierno del Estado de Quintana Roo.

Pacto por México (2012). Disponible en http://www.presidencia.gob.mx/wp-content/uploads/2012/12/Pacto-Por-M%C3%A9xico-TODOS-los-acuerdos.pdf. Consultado el 22 de octubre de 2014.

Palmer, W. C, 1965: Meteorological Drought. Res. Paper No.45, 58pp., Dept. of Commerce, Washington, D.C.

PDUCP (Programa de Desarrollo Urbano del Centro de Población Cancún, municipio Benito Juárez, Quintana Roo 2014-2030) (2014). Secretaria de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano. Disponible en http://cancun.gob.mx/secretaria-general/files/2014/09/PDUCP_2014_2030_Cabildo_27_Ago.pdf. Consultado el 24 de septiembre de 2014.

Pereira Corona A, Prezas Hernández B, Olivares Mendoza JA, Fragoso Servón P y Niño Torres C (2013). Programa Estatal de Acción ante el Cambio Climático del Estado de Quintana Roo. Universidad de Quintana Roo. México.

Plan Quintana Roo 2011-2016. Gobierno del estado Quintana Roo 2011-2016. Disponible en www.qroo.gob.mx

PMDBJ (Plan Municipal de Desarrollo de Benito Juárez 2013-2016) (2013). Disponible en: http://cancun.gob.mx/archivos_pdf/Planmunicipal/PLAN_MUNICIPAL_DEFINITIVO.pdf

PNH (Programa Nacional Hídrico) (2014). Programa Nacional Hídrico 2013-2018. Gobierno de la República. México.

POELMBJ (Programa de Ordenamiento Ecológico Local del Municipio de Benito Juárez, Quintana Roo.) (2005). Comité Técnico para la formulación, expedición y ejecución del Programa de Ordenamiento Ecológico Territorial del Municipio de Benito Juárez, Quintana Roo.

POEQR (Periódico Oficial del Estado de Quintana Roo) (2001). Ley de Equilibrio Ecológico Y la Protección del Ambiente del Estado de Quintana Roo. Quintana Roo.

POEQR (Periódico Oficial del Estado de Quintana Roo) (2008). Ley de Agua Potable y Alcantarillado de Yucatán del Estado de Quintana Roo. Quintana Roo.

POEQR (Periódico Oficial del Estado de Quintana Roo) (2010a). Código Penal para el Estado Libre y Soberano de Quintana Roo. Quintana Roo.

POEQR (Periódico Oficial del Estado de Quintana Roo) (2010b). Ley de Obras Públicas y Servicios Relacionados con las mismas del Estado de Quintana Roo. Quintana Roo.

POEQR (Periódico Oficial del Estado de Quintana Roo) (2011). Ley de Fraccionamientos del Estado de Quintana Roo. Quintana Roo.

POEQR (Periódico Oficial del Estado de Quintana Roo) (2011b). Reglamento de la Ley de Equilibrio Ecológico Y la Protección del Ambiente del Estado de Quintana Roo. Quintana Roo.

POEQR (Periódico Oficial del Estado de Quintana Roo) (2012a). Decreto por el que se declara Área Natural Protegida la Región denominada Reserva Ecológica Ombligo Verde, con la categoría de Zona de Preservación Ecológica Municipal, ubicada en la ciudad de Cancún, Quintana Roo.

POEQR (Periódico Oficial del Estado de Quintana Roo) (2012b). Ley para la Prevención y la Gestión Integral de Residuos del Estado de Quintana Roo. Quintana Roo.

POEQR (Periódico Oficial del Estado de Quintana Roo) (2013a). Ley de Acción de Cambio Climático en el Estado de Quintana Roo. Quintana Roo.

POEQR (Periódico Oficial del Estado de Quintana Roo) (2013b). Ley de Cuotas y Tarifas para los Servicios Públicos de Agua Potable Y Alcantarillado, Tratamiento y Disposición de Aguas Residuales del Estado de Quintana Roo. Quintana Roo.

POEQR (Periódico Oficial del Estado de Quintana Roo) (2013c). Ley de Protección Civil. Quintana Roo.

POEQR (Periódico Oficial del Estado de Quintana Roo) (2013d). Ley Forestal del Estado de Quintana Roo. Quintana Roo.

POEQR (Periódico Oficial del Estado de Quintana Roo) (2013e). Ley para el Fomento de la Cultura del Cuidado del Agua en el Estado de Quintana Roo. Quintana Roo.

POEQR (Periódico Oficial del Estado de Quintana Roo) (2014). Constitución Política del Estado de Quintana Roo. Quintana Roo.

POEQR (Periódico Oficial del Estado de Quintana Roo) (2014b). Ley de Quemas y Prevención de Incendios Forestales para el Estado de Quintana Roo. Quintana Roo.

Prezas Hernández B (2011). Programa Estatal de Acción ante el Cambio Climático (Estado de Quintana Roo). Disponible en

http://cambioclimatico.inecc.gob.mx/descargas/2011_adaptacion_humedales_06.pdf. Consultado el 3 de septiembre de 2014

PRONACOSE (Programa Nacional contra la Sequía) (2014). Indicadores del Nivel de Sequía por municipio en México. Disponible en: http://www.pronacose.gob.mx/Contenido.aspx?n1=4&n2=16&n3=16. Consultado el 5 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.

Segrado Pavón RG, Arroyo Arcos L y Amador Soriano K (2010). La zonificación y su aplicación en las Áreas Naturales Protegidas de uso turístico de Quintana Roo. *Revista El Periplo Sustentable* 19. Universidad Autónoma del Estado de México. Pp. 69-91.

SEMAR (Secretaría de Marina) (2012). Dirección General Adjunta de Oceanografía, Hidrografía y Meteorología DIGAOHM. Disponible en http://digaohm.semar.gob.mx/cuestionarios/cnarioCancun.pdf

SMN (Servicio Meteorológico Nacional) (2010). Normales climatológicas por Estación. Climatología. Quintana Roo. Disponible en: http://smn.cna.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=175&tmpl=component

Vázquez Lule A, Santos González P y Adame MF (2009). Caracterización del sitio de manglar Nichupté. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). Sitios de manglar con relevancia biológica y con necesidades de rehabilitación ecológica. CONABIO, México, D.F. Disponible en http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/manglares/doctos/caracterizacion/PY64_Nichupte_caracterizacion.pdf. Consultado el 23 de septiembre de 2014.

Velázquez AL (1986). Aplicación de principios geoquímicos en la hidrología kárstica de la Península de Yucatán. México.

Velázquez-Torres D (2006). Agua y población en la península de Yucatán: caso Quintana Roo. Caos Conciencia 1: 31-39.

Villasuso M y Méndez R (2000). A Conceptual Model of the Aquifer of the Yucatán Peninsula. In: Population, Development and Environment on the Yucatán Peninsula: From Ancient Maya to 2030. Lutz W, Prieto L, Sanderson W (editors). International Institute for Applied Systems Analysis.

Walski TM y Parker FL (1974). "Consumers Water Quality Index". *Journal Environmental Engineering Division ASCE*, Vol. 100 Nº EE3 pp. 593 - 612.

Wiese P (1996). Impacto medioambiental del desarrollo turístico e industrial. Un caso de estudio: Cancún, Quintana Roo, México. Trabajo presentado en la Conferencia internacional sobre "Procesos en las Ciencias de la Tierra, Uso de Materiales y Desarrollo Urbano" realizado en Bogotá, Colombia, en noviembre. SCOPE (Comité Científico sobre Problemas del Medio Ambiente) del Consejo Internacional de Uniones Científicas y la UICG (Unión Internacional de Ciencias Geológicas). Disponible en http://www.unesco.org/csi/wise/cancun1_s.htm