

La sequía de la península de Yucatán

• Héctor Estrada-Medina* • Víctor Cobos-Gasca •
Universidad Autónoma de Yucatán, México

*Autor para correspondencia

• José Luis Acosta-Rodríguez • Sergio Peña Fierro •
Comisión Nacional del Agua, México

• Mariela Castilla-Martínez • Claudia Castillo-Carrillo • Santiago Franco-Brito •
• Diana López-Castillo • Mariana López-Díaz • Wendy Luna-Flores •
• Andrés Maldonado-Repetto • Oscar Álvarez-Rivera •
• José Luis Cámara-Romero • Andrés Morales-Guadarrama •
• Ana María Moreno-Arjona • Biiniza Pérez-Niño • Pamela Rodríguez-Lara •
• Rosa Linda Zapata-Luna •
Universidad Autónoma de Yucatán, México

Resumen

Estrada-Medina, H., Cobos-Gasca, V., Acosta-Rodríguez, J. L., Peña-Fierro, S., Castilla-Martínez, M., Castillo-Carrillo, C., Franco-Brito, S., López-Castillo, D., López-Díaz, M., Luna-Flores, W., Maldonado-Repetto, A., Álvarez-Rivera, O., Cámara-Romero, J. L., Morales-Guadarrama, A., Moreno-Arjona, A. M., Pérez-Niño, B., Rodríguez-Lara, P., & Zapata-Luna, R. L. (septiembre-octubre, 2016). La sequía de la península de Yucatán. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 7(5), 151-165.

La sequía es uno de los fenómenos naturales más difíciles de estudiar debido a que no se cuenta con una definición lo suficientemente clara ni con los recursos técnicos para poder predecirla. Es un problema que, en el mundo, se ha incrementado en las últimas décadas como consecuencia del cambio climático. En México, la sequía afecta a más personas que cualquier otra contingencia natural, por lo que se requiere estudiarla para poder prevenir y mitigar sus efectos. En la península de Yucatán (PY), zona privilegiada por tener un vasto manto acuífero, la sequía no se presenta de manera tan catastrófica como en otros estados de la república. La sequía produce pérdidas y bajo rendimiento de cultivos, cabezas de ganado y colmenas, disminución de la calidad de los productos, así como incremento en los costos de producción, lo que produce reducción en el ingreso de los productores. A nivel de los organismos operadores no se registra baja en la disponibilidad de agua durante la época de sequía y sólo se reporta su disminución para consumo humano en algunas localidades en donde el acuífero se encuentra muy profundo o la calidad natural del agua no es adecuada para consumo humano. Sin embargo, al depender la PY casi en su totalidad del acuífero para el abasto del agua, su disponibilidad podría disminuir súbitamente por problemas en la infraestructura del sistema operador o de contaminación (importante por la permeabilidad del sustrato geológico y porque no existen sistemas de drenaje y potabilización de agua suficientes).

Palabras clave: disponibilidad de agua, sequía operativa, estiaje.

Abstract

Estrada-Medina, H., Cobos-Gasca, V., Acosta-Rodríguez, J. L., Peña-Fierro, S., Castilla-Martínez, M., Castillo-Carrillo, C., Franco-Brito, S., López-Castillo, D., López-Díaz, M., Luna-Flores, W., Maldonado-Repetto, A., Álvarez-Rivera, O., Cámara-Romero, J. L., Morales-Guadarrama, A., Moreno-Arjona, A. M., Pérez-Niño, B., Rodríguez-Lara, P., & Zapata-Luna, R. L. (September-October, 2016). *The Drought of the Yucatan Peninsula*. *Water Technology and Sciences (in Spanish)*, 7(5), 151-165.

Drought is one of the most difficult natural phenomena to study because there is not yet a clear enough definition nor the technical resources to predict it. However, it is a problem that has increased worldwide in recent decades, perhaps influenced by climate change. In Mexico, drought affects more people than any other natural contingency, so it is necessary to study it to prevent or mitigate its effects. The Yucatan Peninsula, a privileged area with a vast aquifer, drought is not as severe as in other states of México. Drought in the Yucatan Peninsula produces loss or reduction of crop, livestock and hives yields, as well as a reduction of the quality of the products and an increment of the production costs, which promotes a decrease in the producers income. Regarding the operator organisms, there are not reductions on water availability during drought events, water is scarce only in some areas where the aquifer is very deep or the natural quality of the water is not adequate for human consumption. However, since the Yucatan Peninsula depends of the aquifer for water provision, water availability may suddenly decrease due to infrastructure problems of the operator system or contamination (important because the high permeability of the geologic substrate and the lack of drainage and purification systems).

Keywords: Water availability, operative drought, dry season.

Recibido: 19/08/2015
Aceptado: 08/02/2016

Introducción

La sequía se puede definir como un periodo prolongado de disminución o ausencia de la precipitación pluvial, que afecta las actividades humanas (Escobar, 1997; Contreras, 2005). Se presenta de forma lenta y es poco notoria, por lo que puede considerarse un fenómeno no violento, a diferencia de otros eventos naturales, como una inundación o un huracán, pero sus efectos negativos comienzan a afectar la agricultura, ganadería e industria al prolongarse su duración (García-Prats, 2006). La sequía es uno de los fenómenos naturales más difíciles de estudiar debido a que aún no cuenta con una definición lo suficientemente clara ni con los recursos técnicos necesarios para poderla predecir. Sin embargo, es un problema que se ha incrementado en las últimas décadas, quizá influenciado por el cambio climático (FAO, 2009).

En la península de Yucatán (PY), por ser una zona privilegiada con un vasto manto acuífero, no se presenta la sequía de manera tan severa como en otros estados de la república mexicana. Los efectos de la sequía se destacan principalmente en agricultura y ganadería, y sólo se reporta disminución en la disponibilidad de agua para consumo humano en algunas localidades en donde el acuífero se encuentra muy profundo o la calidad natural del agua no es adecuada para el consumo humano (Conagua, 2014).

Sin embargo, como consecuencia de las sequías registradas en los últimos años en estados del norte de México, el gobierno federal puso en marcha el Pronacose (Programa Nacional contra la Sequía), a través del cual se busca prevenir, mitigar y revertir los efectos de la sequía a nivel nacional. En este sentido, a través de la Comisión Nacional del Agua (Conagua) se instauró que cada Consejo de Cuenca a nivel nacional contara con un Programa de Medidas Preventivas y de Mitigación de la Sequía (PMPMS).

En 2013 se realizó el PMPMS para el Consejo de Cuenca Península de Yucatán, el cual tuvo como objetivo identificar y establecer las medidas preventivas y de mitigación de la sequía

en la cuenca, para promover la participación informada de la población y reducir la vulnerabilidad ante este fenómeno.

Materiales y métodos

Zona de estudio

La PY se localiza al sureste de la república mexicana ($19^{\circ} 40'$, $21^{\circ} 37'$ N y $87^{\circ} 30'$, $90^{\circ} 26'$ E) y abarca una superficie aproximada de 140 000 km² (Schmitter-Soto *et al.*, 2002; & Duno-de Stefano, Can-Itza, Rivera-Ruiz, & Calvo-Irabién, 2012); está conformada administrativamente por tres estados: Campeche (11 municipios), Quintana Roo (10 municipios) y Yucatán (106 municipios) (figura 1).

La vegetación de la PY es en su mayoría selva baja caducifolia, y en menor medida selva baja espinosa, selvas altas y medianas subperennifolias y perennifolias, manglar, matorral de duna costera, petén y sabana (Flores & Espejel, 1994).

La región tiene una temperatura media anual de 26 °C, con una diferencia de temperatura entre el mes más frío y el más caliente de entre 5 y 6 °C; la precipitación presenta un gradiente que va de 450 mm en el litoral norte hasta 1 500 mm en la parte más al sur de la PY (Vidal-Zepeda, 2005).

La PY es una estructura geológica que corresponde a una plataforma de rocas sedimentarias, con un grosor de más de 3 500 m, que descansan sobre un basamento paleozoico; la constitución geológica de la superficie de la PY es en su totalidad de rocas sedimentarias marinas (calizas y derivadas), cuyas edades abarcan del Paleoceno al Cuaternario (Lugo-Hubp, Aceves-Quesada, & Espinasa-Pereña, 1992).

En la PY, las asociaciones de suelo con mayor extensión son leptosoles 67.94% (anteriormente rendzinas y/o litosoles), en zonas cársticas recientes y juveniles; gleysoles, 15.25%, en zonas costeras; luvisoles, 4.40%, en planicies cársticas maduras; vertisoles, 2.99%, al sur y noreste; solonchak, 2.42% en la costa; regosol (2.29%) e histosol (0.58%), en litoral y planicie costera (Conagua, 2014).

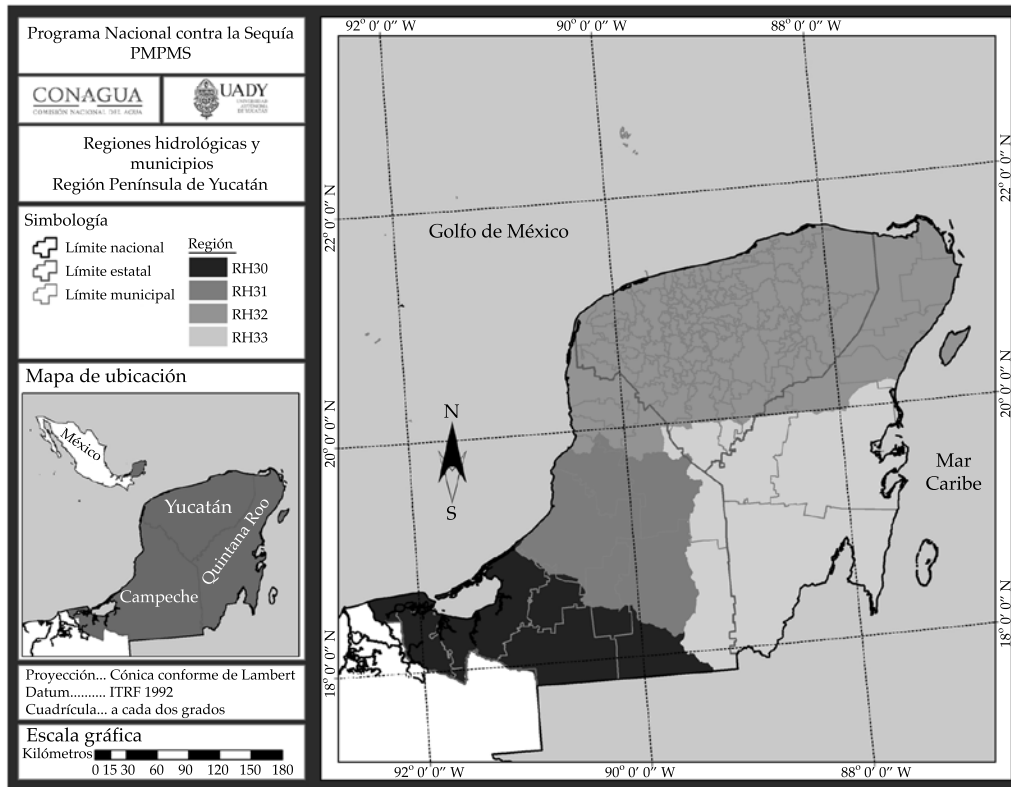


Figura 1. Mapa de localización de la península de Yucatán y regiones hidrológicas (RH). Fuente: Conagua, 2014.
Fuente: PMPMS-CCPY (Conagua, 2014).

Una característica importante de la PY es la ausencia de corrientes superficiales; de la porción norte hacia el sur sólo se manifiesta un drenaje incipiente que desaparece en resumideros o en cuerpos de agua superficiales o aguadas (Bautista-Zúñiga, Palma, & Huchin, 2005). El agua de la lluvia se evapora, es absorbida por plantas y suelo, y se infiltra en el subsuelo. Según el Anuario Estadístico de Campeche (INEGI, 2012), esta entidad cuenta con 50 corrientes de agua y 28 cuerpos de agua. El Anuario Estadístico de Quintana Roo (INEGI, 2011) reporta 10 corrientes de agua y seis cuerpos de agua (19 lagunas y un estero), y para Yucatán se tiene ausencia total de corrientes superficiales y seis cuerpos de agua (cuatro esteros y dos lagunas) (INEGI, 2010).

La recarga natural del acuífero de la PY es de 25 310.70 Hm³/año. Descontando la descarga

natural comprometida (17 341.60 Hm³/año) y el volumen concesionado (3 413.64 Hm³/año), deja una disponibilidad de agua de 4 560.44 Hm³/año (DOF, 2013). La disponibilidad media per cápita a 2012 fue de 6 874 m³ por habitante por año (Conagua, 2013).

La topografía de la PY presenta como rasgo sobresaliente cuerpos de agua denominados cenotes, cuyo origen se debe al proceso denominado karstificación, que consiste en la combinación de mecanismos de disolución, colapso y neoformación de la caliza. Estos procesos están regidos por factores internos (litología, grado de porosidad y fractura de la roca) y externos (clima, temperatura, vegetación, mezcla de agua dulce y salada), los cuales actúan en diferentes escalas de tiempo, dando como resultado muchas formas kársticas y diferentes grados de karstificación. Se estima que en Yucatán existen

entre 7 000 y 8 000 cenotes (Beddows, Blanchon, Escobar, & Torres-Talamante, 2007).

Para el desarrollo del PMPMS para la PY se realizaron tres actividades principales, que consistieron en la caracterización y el diagnóstico del estado de la sequía; identificación de medidas de prevención y mitigación de la sequía, y elaboración de una propuesta de acción ante la sequía para el Consejo de Cuenca de la Península de Yucatán.

Caracterización y diagnóstico de la sequía

Para llevar a cabo la caracterización y el diagnóstico de la sequía se realizó un análisis histórico de este fenómeno, en donde se revisaron los archivos oficiales de las dependencias involucradas en la sequía (Sagarpa, Conagua), registros hemerográficos del diario de circulación más importante en la PY (*Diario de Yucatán*) de los últimos 50 años, para identificar la ocurrencia de eventos de sequía. Sólo se analizaron los registros encontrados entre los meses de marzo a mayo (periodo final de la época de secas) y de julio a agosto (periodo donde usualmente se presenta la canícula).

Se realizaron análisis de los registros históricos de los caudales observados en las estaciones hidrométricas estratégicas de la Conagua de los principales ríos de la PY: Palizada, Mamantel, Champotón y Candelaria en el estado de Campeche. Cabe mencionar que en el estado de Yucatán no existen ríos y en el estado Quintana Roo se encuentra el río Hondo, pero no hay datos disponibles de su caudal.

Se recopilaron y analizaron los datos meteorológicos históricos de precipitación para el periodo 1982-2013, y de temperatura para diferentes periodos de 66 estaciones climatológicas en el estado de Yucatán (1962-2012); 51 en Campeche (1944-2012), y 43 en Quintana Roo (1952-2013), con los cuales se obtuvieron valores promedio. A partir de este análisis se hicieron interpolaciones con el programa GS+ (Gamma Design, USA) para después generar los mapas

en *ARCGIS 10.1* (ESRI, USA) en históricos del promedio de la precipitación anual y promedio de temperatura máxima anual histórica de la PY (1982-2013), así como los mapas históricos del promedio de temperaturas máximas por periodos: mayo-octubre, lluvias; noviembre-abril, secas; marzo-mayo, fin de la época de secas; junio-agosto, canícula.

Además se realizó el cálculo del índice de precipitación estandarizado (SPI, por sus siglas en inglés), para identificar la intensidad de la sequía en la PY. El SPI es empleado en Estados Unidos por el Centro Climático de Colorado, el Centro Climático Regional del Oeste y el Centro Nacional para la Mitigación de la Sequía (McKee, Doesken, & Kleist, 1993).

El SPI representa el número de desviaciones estándar que cada uno de los registros evaluados de precipitación se desvía del promedio histórico. Todos los registros de precipitación superiores al promedio histórico del mes evaluado resultan en un valor de SPI positivo, mientras que registros de precipitación menores al promedio histórico del mes evaluado toman un valor de SPI negativo (McKee *et al.*, 1993). Para el cálculo del SPI se utilizó el programa *SPI_sl_6*, el cual se encuentra disponible en la página del Centro Nacional para la Mitigación de la sequía de Estados Unidos (National Drought Mitigation Center): <http://drought.unl.edu/MonitoringTools/DownloadableSPI-Program.aspx>.

Con los valores obtenidos del SPI se clasificó a la sequía en cinco categorías: anormalmente seco (D0), sequía moderada (D1), sequía severa (D2), sequía extrema (D3) y sequía excepcional (D4) (cuadro 1). Dicha clasificación está relacionada con la clasificación de la Intensidad de la Sequía del Monitor de Sequía de América del Norte (NADM), en donde se presenta una descripción del tipo de sequía que se presenta con base en el déficit de agua.

Se analizaron los datos de SPI calculados para 85 estaciones meteorológicas de la PY (29 en Campeche, 18 en Quintana Roo y 38 en Yucatán). Para cada estación se determinó el valor de SPI

Cuadro 1. Intervalos de SPI para cada tipo de sequía.

Categoría	Clasificación	SPI
D0	Anormalmente seco	-0.50 a -0.99
D1	Sequía moderada	-1.00 a -1.49
D2	Sequía severa	-1.50 a -1.99
D3	Sequía extrema	-2.00 a -2.49
D4	Sequía excepcional	-2.50 o menor

Fuente: modificado de Giddings, Soto, Rutherford y Maarouf, 2005.

más negativo por mes y por año, se le asignó su categoría de sequía y se analizó el número de estaciones que registraron una misma categoría de sequía como la sequía más severa en un mes o año determinado.

Finalmente, para la elaboración del mapa de vulnerabilidad de la región Hidrológico-Administrativa XII Península de Yucatán se utilizaron los valores normalizados a nivel municipal de los siguientes indicadores: 1. Grado de exposición (brecha hídrica y frecuencia de sequías); 2. Sensibilidad (población, valor agregado censal bruto (VABC), superficie cultivada por municipio e índice de marginación), y 3. Capacidad de adaptación (altitud y calidad del agua). Para la normalización de los datos se empleó la ecuación (1):

$$Z_j \text{ normalización} = \frac{Z_j - Z_{\text{mín}}}{Z_{\text{máx}} - Z_{\text{mín}}} \quad (1)$$

donde:

Z_j = valor del indicador para el municipio j .

$Z_{\text{mín}}$ y $Z_{\text{máx}}$ = valores mínimo y máximo observados del indicador para el municipio j .

Medidas de prevención y mitigación de la sequía

Para identificar las medidas de prevención y mitigación a la sequía para la PY se realizaron talleres participativos con representantes de los sectores de usuarios del consejo de cuenca de la PY (acuícola, agrícola, industrial, pecuario, público urbano, de servicios y de

temporal tecnificado), así como los comités de la sociedad organizada (ambiental, equidad y género, indígena, forestal, academia e investigación).

En las reuniones realizadas con representantes de cada uno de estos sectores se expusieron diferentes medidas generales y más particulares, mismas que fueron evaluadas, categorizadas y priorizadas tanto en medidas preventivas como de mitigación a corto y largo plazos.

También se llevaron a cabo reuniones con representantes de las diferentes dependencias públicas relacionadas con la sequía, como son Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat), Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP), Secretaría de Desarrollo Social (Sedesol), Secretaría de Energía (Sener), Secretaría de Economía (SE), Secretaría de Salubridad y Asistencia (SSA), y Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (Sagarpa).

Protocolo de alertamiento en caso de sequía

Se elaboró un protocolo de alertamiento sugerido ante la presencia de un fenómeno de sequía, en el que se tienen las actividades a realizar según el momento, los productos a obtener, así como la dependencia o actores encargados de llevar a cabo la acción. Para su elaboración se tomó como referencia el protocolo de alertamiento para condiciones meteorológicas y/o hidrológicas severas de la Conagua-Organismo de Cuenca Península de Yucatán.

Resultados y discusión

Caracterización y diagnóstico de la sequía

En total, de 2005 a 2009 ha habido siete declaratorias oficiales de sequía publicadas en el *Diario Oficial de la Federación* (DOF): dos para Campeche (DOF, 2004a; DOF, 2007); dos para Quintana Roo (DOF, 2004b; DOF, 2004c), tres para Yucatán (DOF, 2008; DOF, 2009a, 2009b). Antes de 2005 no había declaratorias oficiales de sequía; sin embargo, hay diversas fuentes que documentan la existencia de episodios de sequía en la PY durante el siglo XIX (Me-Bara & Valdéz,

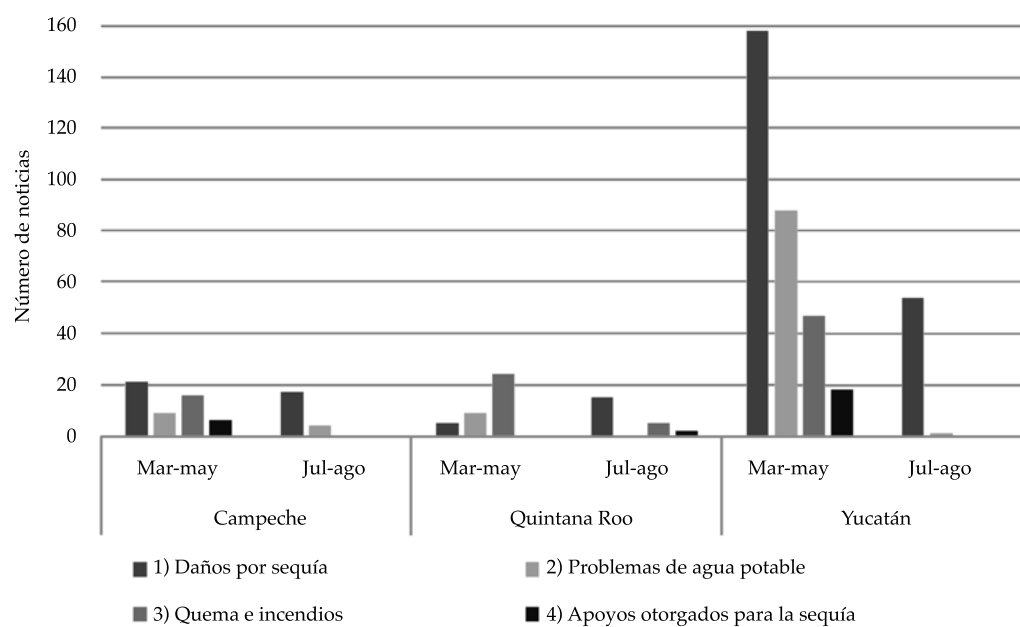
2003; Contreras, 2005; Mendoza, García-Acosta, Velasco, Jáuregui, & Díaz-Sandoval, 2007). Los daños de los episodios de sequía declarados oficialmente se documentan en el cuadro 2. De 2013 a 2015 no se han hecho declaraciones de sequía en ninguno de los tres estados de la PY; empero, las fuentes no oficiales han registrado la problemática que han percibido los usuarios.

En los registros hemerográficos se observó que el mayor número de noticias relacionadas con los daños por la sequía se registraron en el periodo marzo a mayo y que el estado de la PY con más registros de noticias asociadas con sequía es el estado de Yucatán (figura 2).

Cuadro 2. Reporte de daños de la sequía por estado.

Estado afectado	Año	Productores afectados	Áreas de cultivo afectadas (has)	Unidades animales	Total en millones de pesos
Campeche	2005	9 905	ND	ND	7.4
Campeche	2007	9 169	23 955.0	ND	19.7
Yucatán	2008	11 238	11 639.1	ND	30.3
Yucatán	2009	1 482	ND	9 666	86.3
Quintana Roo	2009	18 354	7 847.1	ND	7.1

ND: no determinado. Fuente: elaboración propia con datos de Cenapred, 2009, y Sagarpa, 2010.



Fuente: PMPMS-CCPY (Conagua, 2014)

Figura 2. Frecuencia de noticias relacionadas con la sequía en la península de Yucatán en los periodos marzo-mayo (fin de la época de secas) y julio-agosto (canicula) de 1962 a 2012.

De los ríos de la PY con los que se cuenta datos de caudal, el Palizada es el que presenta mayor caudal (figura 3a), seguido del Candelaria (figura 3d), Champotón (figura 3b) y Mamantel (figura 3c). El análisis de los registros históricos de los caudales de los ríos estudiados revela que los promedios mensuales de los caudales registrados en las estaciones hidrométricas de los ríos Mamantel, Palizada y Champotón de 1953 a 2012 muestran un comportamiento similar relacionado con la estacionalidad de la lluvia (datos no presentados). Los meses con menos caudal son de marzo a mayo (fin de la época de secas), y los meses con mayor caudal son de junio a noviembre (lluvias) (Márdero, Schneider, Rogan, Christman, & Lawrence, 2011).

En el mapa de precipitación anual promedio de la PY (figura 4) se puede identificar una clara disminución en la precipitación tanto en la franja costera del estado de Yucatán como en la zona centro-sur de la península, donde convergen los tres estados. En el estado de Campeche, la región comprendida por los municipios de Palizada, Carmen, Candelaria, zona sur de Champotón y zona poniente de Escárcega es donde se presentan los mayores volúmenes de precipitación. En Quintana Roo, las regiones en donde se reportan los mayores volúmenes de precipitación se encuentran en los municipios de Isla Mujeres, Benito Juárez, Lázaro Cárdenas y el norte de la isla de Cozumel, así como la ubicada en la línea costera de los municipios de Othón P. Blanco y Felipe Carrillo Puerto.

En el mapa promedio de temperatura máxima anual histórica de la PY para el periodo 1982-2013 (figura 5) se puede observar que los valores máximos de temperatura rondan los 40 °C, principalmente en el centro del estado de Yucatán y en algunas zonas de Campeche.

En los mapas promedio de temperaturas máximas históricas de la PY (1982-2013) se puede observar que en los periodos mayo-octubre (lluvias) y junio-agosto (canícula), el estado de Yucatán presenta las temperaturas extremas más elevadas, mientras que en los periodos noviembre-abril (secas) y marzo-mayo (fin de la época de secas), las temperaturas más extremas

se presentan en Yucatán y Campeche (figura 6). En todos los periodos, Quintana Roo es la entidad donde las temperaturas extremas son menores, aunque algunos municipios aledaños a Campeche y Yucatán también presentan valores de temperatura extrema alta.

Los resultados del análisis de SPI indican que para la PY, en los últimos 30 años, el tipo de sequía que generalmente fue catalogada como la más severa, fue la del tipo D2. Los tipos de sequía D0, D1 y D2 han predominado como sequías extremas en los meses de enero a mayo, mientras que los tipos D2, D3 y D4 se han presentado en los meses de junio a octubre. El análisis espacial del SPI no mostró ningún patrón evidente que sugiriera zonas con mayor probabilidad de sequía (datos no presentados).

Para el caso de la PY, al contar con un abasto casi ilimitado de agua subterránea y de fácil acceso, las épocas secas se mitigan de forma sistemática con la extracción de más agua del acuífero, quedando sólo en riesgo el sector agrícola de temporal y aquellas poblaciones donde la calidad del agua del acuífero o su lejanía a la superficie hacen difícil el acceso al recurso.

Un punto que resalta del impacto de la sequía es que aunque no necesariamente afecte a las zonas más marginadas, sus efectos negativos son mayores en las poblaciones de escasos recursos. Esto pone de manifiesto la necesidad de dirigir y/o mantener los recursos para la prevención y mitigación de los daños a los más marginados (Cenapred 2010, 2012).

Como resultado del análisis de vulnerabilidad ante la sequía realizado en este estudio, se observó que 86 municipios de la PY (49% de la superficie) presentaron un grado de vulnerabilidad media, seguida de 19 municipios con una vulnerabilidad alta (28% de la superficie), siete municipios con vulnerabilidad muy alta (19% de la superficie) y sólo 13 municipios (4% de la superficie) con vulnerabilidad baja (figura 7).

Los municipios que presentan una vulnerabilidad muy alta ante los fenómenos de sequía son los siguientes: Cozumel, en Quintana Roo; Calakmul y Carmen, en Campeche; Panabá, Río Lagartos, Sucilá y Tizimín, en Yucatán. Los

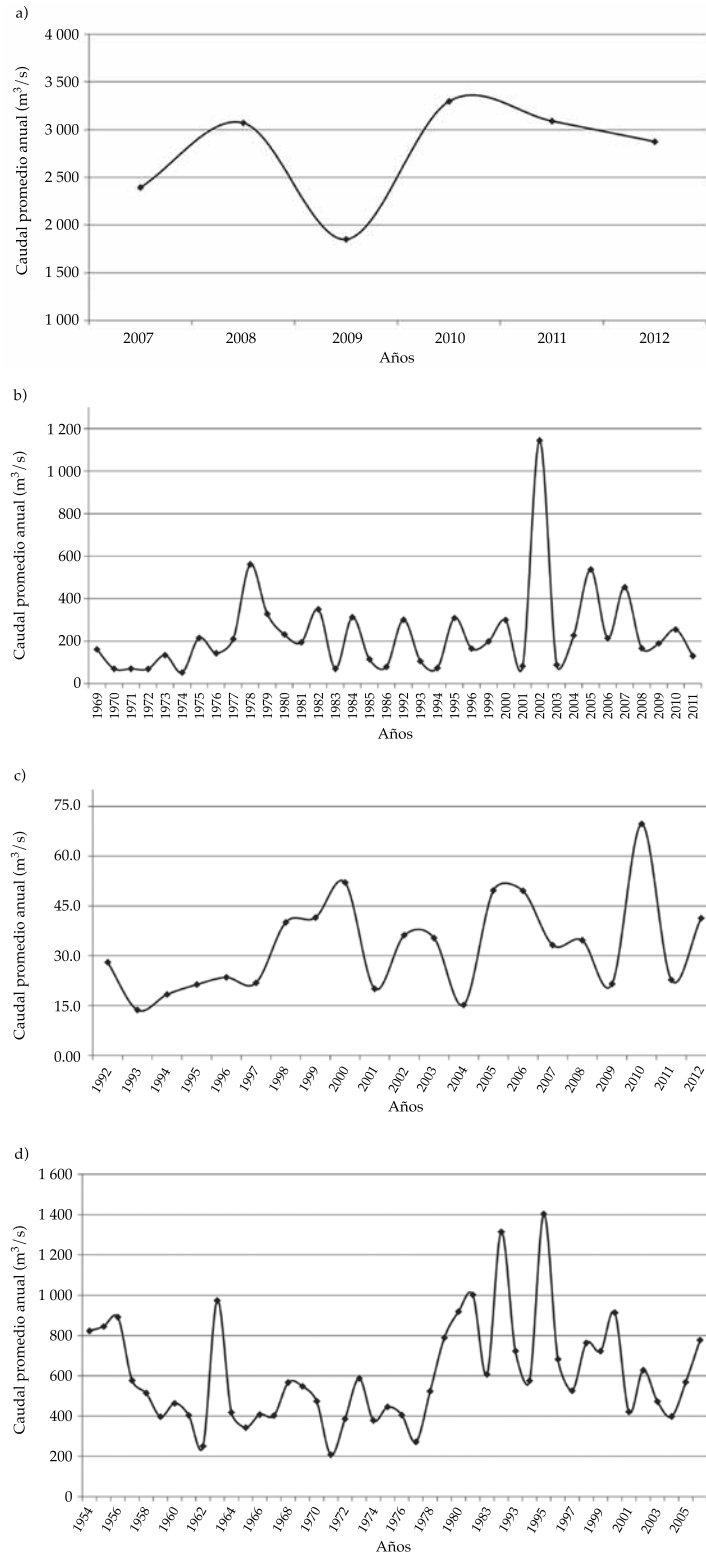


Figura 3. Caudal promedio anual de los principales ríos del estado de Campeche.

Nota: a) río Palizada (años 2007-2012); b) río Champotón (años 1969-2011); c) río Mamantel (años 1992-2013); d) río Candelaria (años 1954-2006). Fuente: PMPMS-CCPY (Conagua, 2014).

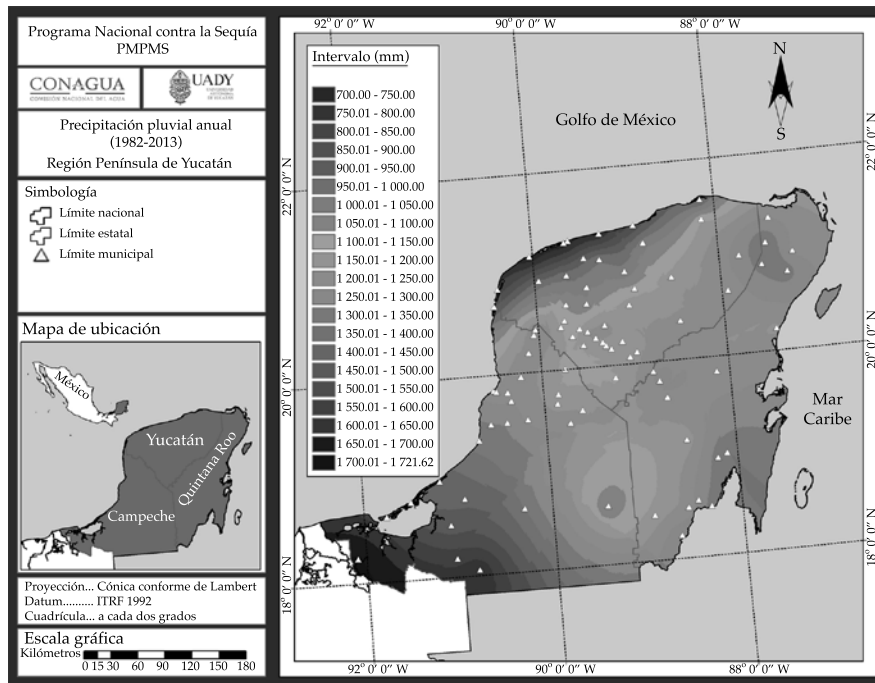


Figura 4. Promedio de la precipitación anual de la península de Yucatán.

Fuente: PMPMS-CCPY (Conagua, 2014). Los triángulos representan las estaciones meteorológicas consideradas para la elaboración de este mapa.

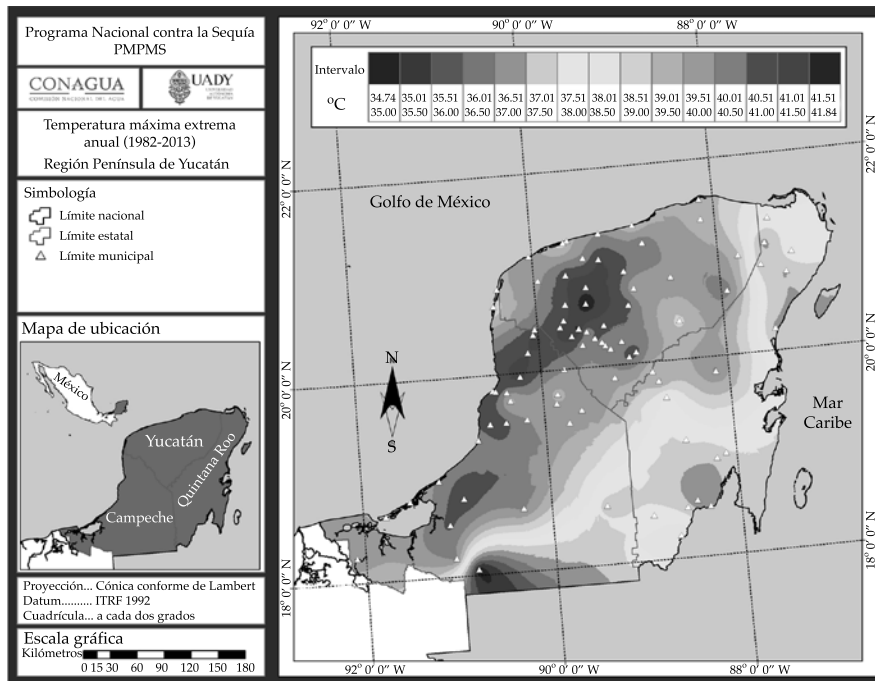


Figura 5. Promedio de temperatura máxima anual histórica de la península de Yucatán (1982-2013).

Fuente: PMPMS-CCPY (Conagua, 2014).

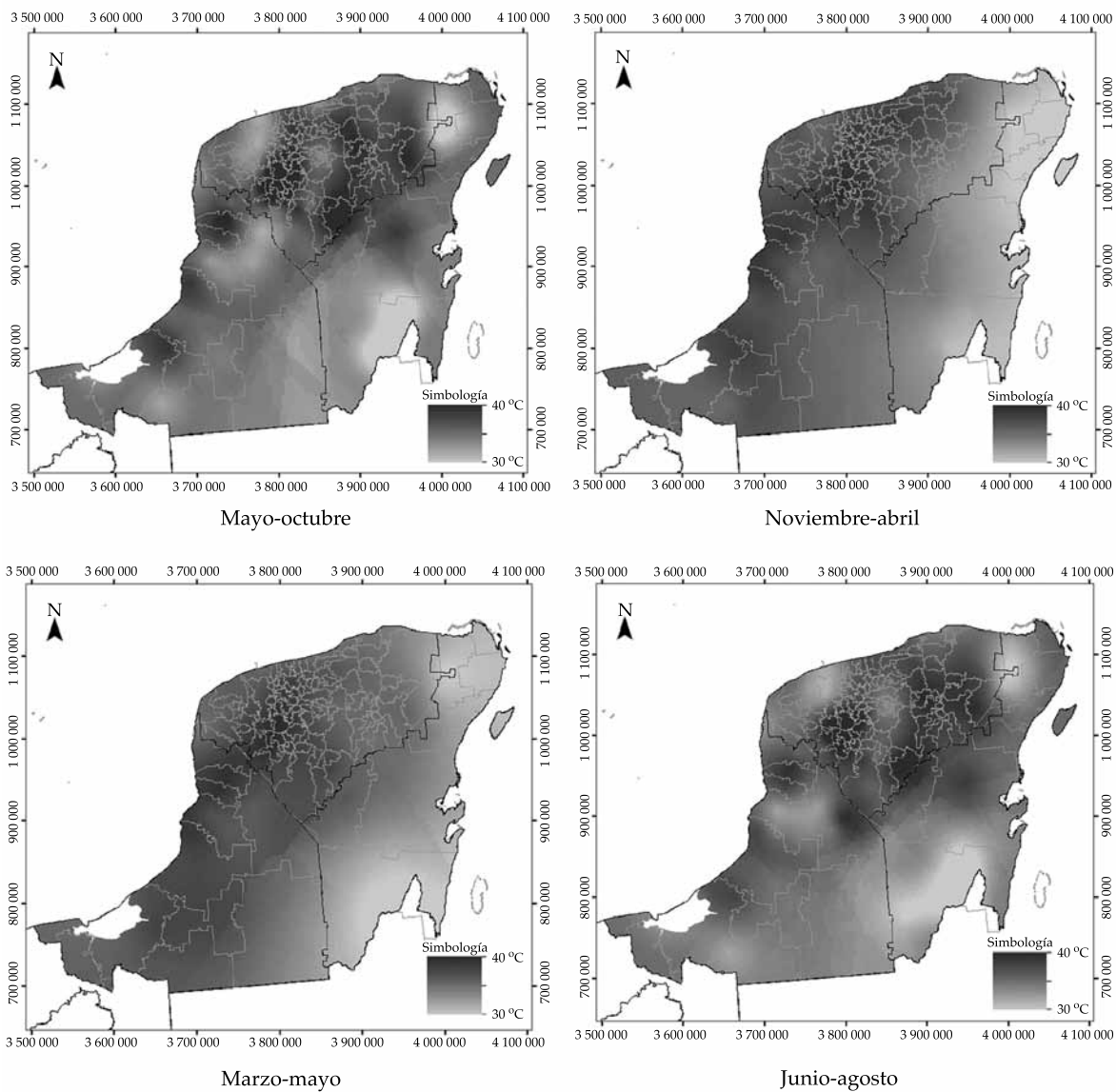


Figura 6. Promedio mensual de temperaturas máximas por periodos; mayo-octubre (lluvias), noviembre-abril (secas), marzo-mayo (fin de la época de secas) y junio-agosto (canícula).

Fuente: PMPMS-CCPY (Conagua, 2014).

municipios que presentan una vulnerabilidad alta ante un fenómeno de sequía en el estado de Campeche son Hecelchacán y Hopelchén; mientras que para el estado de Quintana Roo sobresalen Benito Juárez, Lázaro Cárdenas y Othón P. Blanco; para Yucatán, los municipios de Buctzotz, Celestún, Chemax, Dzilam Bravo, Dzilam Gonzáles, Dzoncahuich, Halachó, Hu-

nucmá, Mérida, Progreso, Sucilá, Tekax, Telchac Pueblo y Tixcacalcupul.

Medidas de prevención y mitigación de la sequía

Se identificaron las medidas preventivas y de mitigación contra la sequía. Las primeras

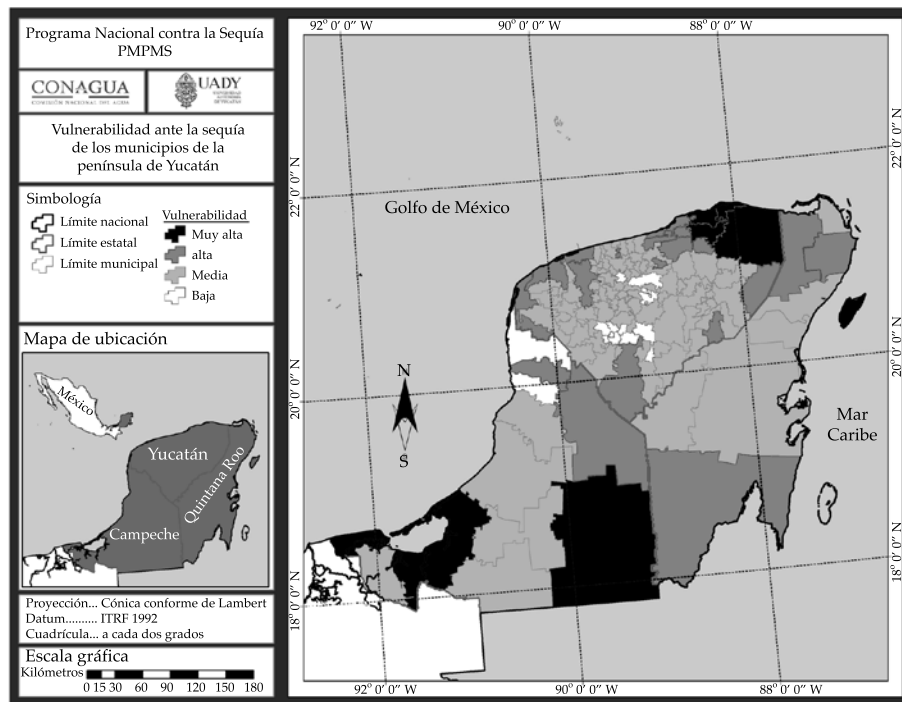


Figura 7. Mapa de vulnerabilidad ante la sequía de la península de Yucatán en el ámbito municipal.

Fuente: PMPMS-CCPY (Conagua, 2014).

se realizarán para evitar que se presenten daños en caso de un fenómeno de sequía y las segundas cuando el fenómeno de la sequía ya esté presente, para disminuir sus efectos. Cada medida tiene niveles de aplicación de acuerdo con la etapa de la sequía en la que se encuentre la región. Las medidas preventivas comprenden aquellas relacionadas con capacitación, para que los usuarios hagan un uso más eficiente del recurso agua en la satisfacción de sus necesidades; mientras que las medidas de mitigación son estrategias de respuesta que los usuarios pueden hacer por sí mismos o con apoyo de instituciones.

En el cuadro 3 se presenta un resumen de las principales medidas consideradas para actuar en el largo (medidas preventivas) y corto plazos (medidas de mitigación). La lista completa de medidas identificadas se reportaron por sector de usuarios o sociedad organizada incluidos en el consejo de cuenca

de la PY y se puede consultar en el PMPMS de la PY (Conagua, 2014).

Protocolo de alertamiento en caso de sequía

Se desarrolló un protocolo de alertamiento en el que se establecen los momentos de acción para llevar a cabo la declaratoria de inicio, las actividades pertinentes a realizar en cada etapa de sequía, la declaratoria de finalización de la contingencia en caso de sequía, así como el recuento de los daños y acciones para subsanarlos (figura 8). Se incluye a las instituciones que, de acuerdo con sus competencias y funciones, se sugiere que sean las responsables de realizar las actividades sugeridas en cada situación. Finalmente, se integra el protocolo para declarar el fin de la sequía y las acciones sugeridas después del evento, entre las cuales están el recuento de los daños y la identificación de acciones de prevención.

Cuadro 3. Principales medidas preventivas y de mitigación de la sequía recomendadas para los diferentes sectores del Consejo de Cuenca.

Medidas preventivas	Medidas de mitigación
Monitoreo y alertamiento de la sequía	
Campañas para el uso eficiente del agua y riego (reducción, reutilización, reparación de fugas)	
Implemento de uso de ecotecnologías	Racionamiento y consumo eficiente del agua (reúso de agua entre sectores, captación de agua de lluvia, priorización del uso del agua, riego eficiente y reducido)
Estudio de riesgo hidrometeorológico	
Difusión de medidas de mitigación	Suministro de agua a sectores afectados
Promoción de conservación de suelos	Modificación del calendario de quemas con base en las condiciones climatológicas
Incremento de la reforestación	Proporción de apoyos económicos y en especie a sectores afectados
Promoción del uso de sistemas de captación de agua de lluvia	Subsidio de tarifas eléctricas para los sectores afectados
Apoyo del desarrollo de programas de conservación de agua local	Preparación de los decretos y documentación necesaria para aplicar las medidas en sequía
Realización y aplicación de programas de medidas preventivas y de mitigación de la sequía (PMPMS) del Consejo de Cuenca y de las principales ciudades de la península de Yucatán	

Fuente: Conagua, 2014.

Conclusiones

La sequía no representa un fenómeno altamente catastrófico para la PY como para otras zonas de la república. La sequía hidrológica no es un problema en la PY, pues las pocas fuentes superficiales de agua dulce no son la base para el abastecimiento de las poblaciones. Sin embargo, la sequía agrícola, incluso para productores que cuentan con sistemas de riego, produce pérdidas y bajo rendimiento de cultivos, cabezas de ganado y colmenas, disminución de la calidad de los productos, así como incremento en los costos de producción (p. ej., resiembra para productores de temporal o mayor consumo de energía para productores con sistema de riego), lo que se traduce en la reducción del ingreso de los productores. A nivel de los organismos operadores no se registra disminución en la disponibilidad de agua durante

la época de sequía y sólo se reporta su mengua para consumo humano en algunas localidades, la mayoría con pocos habitantes, en donde el acuífero se encuentra muy profundo o la calidad natural del agua no es adecuada para consumo humano. Sin embargo, al depender la PY casi en su totalidad del acuífero para el abasto del agua, su disponibilidad podría disminuir súbitamente por problemas en la infraestructura del sistema operador (sequía operativa) o la contaminación del acuífero. Un ejemplo de sequía operativa podría ser en el caso de la destrucción de infraestructura hidráulica o de suministro de energía eléctrica a consecuencia de un huracán. La contaminación del acuífero es un problema que puede agravarse con rapidez debido a la alta permeabilidad del sustrato geológico, y a que no existen sistemas de drenaje, colecta, tratamiento y potabilización de agua suficientes en la PY. Se sugiere la

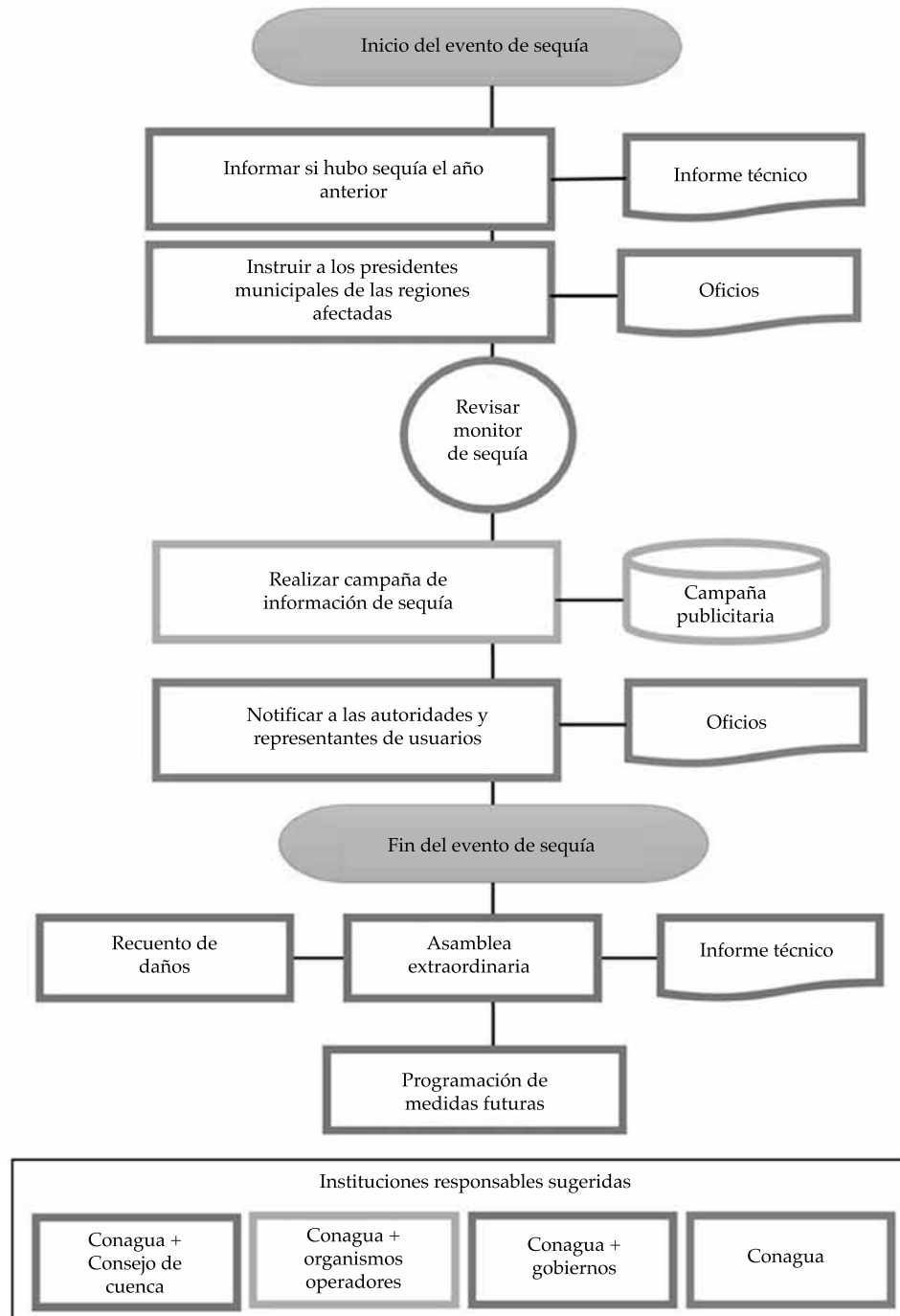


Figura 8. Diagrama de flujo del protocolo sugerido de alertamiento en caso de sequía.

difusión e implementación pronta del PMPMS del Consejo de Cuenca para que todos los actores involucrados conozcan las acciones que

deben realizarse y asuman su responsabilidad en el manejo de una contingencia por sequía en la península de Yucatán.

Referencias

- Bautista-Zúñiga, F., Palma, D., & Huchin, W. (2005). Actualización de la clasificación de los suelos del estado de Yucatán. En: *Caracterización y manejo de los suelos de la Península de Yucatán: implicaciones agropecuarias, forestales y ambientales*. Bautista, F., & Palacio, G. (ed.). Campeche, México: Universidad Autónoma de Campeche, Universidad Autónoma de Yucatán, Instituto Nacional de Ecología.
- Beddows, P., Blanchon, P., Escobar, E., & Torres-Talamante, O. (2007). Los cenotes de la Península de Yucatán. *Arqueología Mexicana*, 14(5), 32-35.
- Canepred (2009). *Características e impacto socioeconómico de los principales desastres ocurridos en la República Mexicana en el año 2008*. México, DF: Centro Nacional de Prevención de Desastres.
- Canepred (2010). *Características e impacto socioeconómico de los principales desastres ocurridos en la República Mexicana en el año 2009*. México, DF: Centro Nacional de Prevención de Desastres.
- Canepred (2012). *Características e impacto socioeconómico de los principales desastres ocurridos en la República Mexicana en el año 2010*. México, DF: Centro Nacional de Prevención de Desastres.
- Conagua (2007-2012). *Programa hídrico por organismo de cuenca, visión 2030. Gerencia regional Península de Yucatán XII*. México, DF: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos naturales, Comisión Nacional del Agua.
- Conagua (2013). *Estadísticas del agua en México*. México, DF: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos naturales, Comisión Nacional del Agua.
- Conagua (2014). *Programa de Medidas Preventivas y de Mitigación de la Sequía del Consejo de Cuenca Península de Yucatán (PMPMS-CCPY)*. México, DF: Comisión Nacional del Agua, Universidad Autónoma de Yucatán (UADY).
- Contreras, C. S. (2005). Las sequías en México durante el siglo XIX. *Investigaciones Geográficas*, 56, 118-133.
- DOF (2004a). Declaratoria de Contingencia Climatológica para Efectos de las Reglas de Operación del Fondo para Atender a la Población Rural Afectada por Contingencias Climatológicas (FAPRACC). Sagarpa Campeche. Folio 37. *Diario Oficial de la Federación*.
- DOF (2004b). Declaratoria de Contingencia Climatológica para Efectos de las Reglas de Operación del Fondo para Atender a la Población Rural Afectada por Contingencias Climatológicas (FAPRACC). Sagarpa Quintana Roo. Folio 3060. *Diario Oficial de la Federación*.
- DOF (2004c). Declaratoria de Contingencia Climatológica para Efectos de las Reglas de Operación del Fondo para Atender a la Población Rural Afectada por Contingencias Climatológicas (FAPRACC). Sagarpa Quintana Roo. Folio 65. *Diario Oficial de la Federación*.
- DOF (2007). Declaratoria de Contingencia Climatológica para Efectos de las Reglas de Operación del Fondo para Atender a la Población Rural Afectada por Contingencias Climatológicas (FAPRACC). Sagarpa Campeche. Folio 595. *Diario Oficial de la Federación*.
- DOF (2008). Declaratoria de Contingencia Climatológica para Efectos de las Reglas de Operación del Fondo para Atender a la Población Rural Afectada por Contingencias Climatológicas (FAPRACC). Gobierno del Estado de Yucatán. Folio 300146. *Diario Oficial de la Federación*.
- DOF (2009a). Declaratoria de Contingencia Climatológica para Efectos de las Reglas de Operación del Fondo para Atender a la Población Rural Afectada por Contingencias Climatológicas (FAPRACC). Gobierno del Estado de Yucatán. Folio 300298. *Diario Oficial de la Federación*.
- DOF (2009b). Declaratoria de Contingencia Climatológica para Efectos de las Reglas de Operación del Fondo para Atender a la Población Rural Afectada por Contingencias Climatológicas (FAPRACC). Gobierno del Estado de Yucatán. Folio 300319. *Diario Oficial de la Federación*.
- DOF (2013). Acuerdo por el que se actualiza la disponibilidad media anual de agua subterránea de los 653 acuíferos de los Estados Unidos Mexicanos, mismos que forman parte de las regiones hidrológico-administrativas que se indican. Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. México. *Diario Oficial de la Federación*.
- Duno-de Stefano, R., Can-Itza, L., Rivera-Ruiz, A., & Calvo-Irabién, L. (2012). Regionalización y relaciones biogeográficas de la Península de Yucatán con base en los patrones de distribución de la familia Leguminosae. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 83, 1053-1072.
- Escobar, A. (1997). Las sequías y sus impactos en la sociedad del México decimonónico, 1856-1900 (32 pp.) En: *Historia y Desastres en América Latina*. Volumen II. García, A. V. (Coord.). Panamá: Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina.
- FAO (2009). *Perfil para el cambio climático*. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación. Recuperado de <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/012/i1323s/i1323s00.pdf>.
- Flores, J. S., & Espejel, I. (1994). *Tipos de vegetación de la Península de Yucatán. Etnoflora Yucatanense* (135 pp.). Fascículo 3. Mérida, México. Universidad Autónoma de Yucatán.
- García-Prats, A. (2006). *Sequías: teoría y prácticas*. Valencia, España: Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente, Universidad Politécnica de Valencia.
- Giddings, L., Soto, M., Rutherford, B. M., & Maarouf, A. (2005). Standardized Precipitation Index Zones for México. *Atmósfera*, 18, 33-56.
- INEGI (2010). *Censo de población y vivienda 2010: Campeche*. México, DF: Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Recuperado de www.inegi.gob.mx.

- INEGI (2011). *Anuario estadístico de Quintana Roo*. México, DF: Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Recuperado de www.inegi.gob.mx.
- INEGI (2012). *Anuario estadístico de Campeche*. México, DF: Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Recuperado de www.inegi.gob.mx.
- Lugo-Hubp, J., Aceves-Quesada, R., & Espinasa-Pereña, R. (1992). Rasgos geomorfológicos mayores de la Península de Yucatán. *Universidad Nacional Autónoma de México, Revista del Instituto de Geografía*, 10(2), 143-150.
- Márdero, S., Schneider, L., Rogan, J., Christman, Z., 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*, 78, 19-33.
- McKee, T. B., Doesken, N. J., & Kleist, J. (1993). *The Relationship of Drought Frequency and Duration of Time Scales* (pp. 179-186). Eighth Conference on Applied Climatology, American Meteorological Society, Jan. 17-23, 1993, Anaheim CA.
- Me-Bara, Y., & Valdéz, F. (2003). Droughts as Random Events in the Maya Lowlands. *Journal of Archaeological Science*, 30(12), 1599-1606.
- Mendoza, B., García-Acosta, G., Velasco, V., Jáuregui, E., & Díaz-Sandoval, R. (2007). Frequency and Duration of Historical Droughts from the 16th to the 19th Centuries in the Mexican Maya Lands, Yucatán Peninsula. *Climatic Change*, 83, 151-168.
- Sagarpa (2010). *Programa de Atención a Contingencias Climatológicas (PAAC). Evaluación Externa de Resultados. Universidad Autónoma de Chapingo*. México DF: Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación.
- Schmitter-Soto, J., Comín, F., Escobar-Briones, E., Herrera-Silveira, J., Alcocer, J., Suárez-Morales, E., Elías-Gutiérrez, M., Díaz-Arce, V., Marín, L., & Steinich, B. (2002). Hydrogeochemical and Biological Characteristics of Cenotes in the Yucatán Peninsula (SE Mexico). *Hydrobiologia*, 467, 215-228.
- Vidal-Zepeda, R. (2005). Región XI. Península de Yucatán (pp. 189-204). En: *Las regiones climáticas de México*. Vidal-Zepeda, R. México, DF: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geografía.

Dirección institucional de los autores

Héctor Estrada Medina

Universidad Autónoma de Yucatán (UADY)
Departamento de Manejo y Conservación de Recursos Naturales Tropicales (Protropico)
Campus de Ciencias Biológicas y Agropecuarias (CCBA)
Km 15.5 Carretera Mérida-Xmatkuil
97315 Mérida, Yucatán, MÉXICO
hector.estrada@correo.uady.mx

Víctor Cobos Gasca

Universidad Autónoma de Yucatán (UADY)
Departamento de Ecología Tropical
Campus de Ciencias Biológicas y Agropecuarias (CCBA)
Km 15.5 Carretera Mérida-Xmatkuil
97315 Mérida, Yucatán, MÉXICO

José Luis Acosta Rodríguez
Sergio Peña Fierro

Comisión Nacional del Agua
Organismo de Cuenca Península de Yucatán
Calle 59B núm. 238 x Av. Zamná, Fraccionamiento Yucalpetén
97880 Mérida, Yucatán, MÉXICO

Mariela Castilla Martínez
Claudia Castillo Carrillo
Santiago Franco Brito
Diana López Castillo
Mariana López Díaz
Wendy Luna Flores
Andrés Maldonado Repetto
Oscar Álvarez Rivera
José Luis Cámara Romero
Andrés Morales Guadarrama
Ana María Moreno Arjona
Biiniza Pérez Niño
Pamela Rodríguez Lara
Rosa Linda Zapata Luna

Universidad Autónoma de Yucatán (UADY)
Campus de Ciencias Biológicas y Agropecuarias (CCBA)
Km 15.5 Carretera Mérida-Xmatkuil
97315 Mérida, Yucatán, MÉXICO