

# Análisis de vulnerabilidad física y medidas de mitigación del sistema de agua potable de Telchac Puerto ante la amenaza de huracanes

Jorge García Sosa, Arturo E. Espadas Solís.

## RESUMEN

En este trabajo se destacan las diversas afectaciones que produce un huracán sobre los sistemas de abastecimiento de agua potable, así como la importancia que éstos tienen para lograr el retorno a la normalidad de la población, una vez que cesa el fenómeno meteorológico en cuestión. Se presenta la caracterización del sistema de abastecimiento de agua potable de la localidad de Telchac Puerto, Yucatán, su análisis de vulnerabilidad física y la propuesta de medidas de mitigación de daños, a fin de evitar interrupciones prolongadas del servicio de agua potable, en caso de afectaciones por el paso de huracanes.

Para este estudio, se realizaron entrevistas con los responsables del sistema de abastecimiento de agua potable estudiado, con objeto de conocer el funcionamiento técnico y administrativo del mismo; también se realizó el registro fotográfico y de geoposicionamiento de los componentes funcionales de dicho sistema de agua potable (captación, almacenamiento, red de distribución, etc.), mismos que fueron integrados a un mapa de información geográfica de la localidad estudiada.

Finalmente, se elaboró la matriz de vulnerabilidad física y la propuesta de las medidas de mitigación de daños para el sistema de agua potable estudiado ante la amenaza de huracanes. Se comprobó que los costos de mitigación de daños son menores que los costos de vulnerabilidad física, por lo que se recomienda la realización de las obras sugeridas para reducir la vulnerabilidad del sistema de agua potable.

**Palabras clave:** vulnerabilidad física, abastecimiento de agua potable, mitigación de daños, gestión de riesgo.

---

## INTRODUCCIÓN

Los huracanes son los más fuertes y severos de los fenómenos meteorológicos conocidos como ciclones tropicales. Son sistemas de baja presión con vientos de más de 118 km/hora girando en espiral y en sentido contrario a las manecillas del reloj en el hemisferio norte (en el hemisferio sur giran en el mismo sentido que las manecillas del reloj) (Capurro L., 2001).

Los efectos asociados a los ciclones tropicales, especialmente a los huracanes, son marejadas, vientos fuertes y precipitaciones intensas que a su vez generan deslizamientos e inundaciones.

La intensidad de un huracán es un indicador que generalmente refleja el potencial destructor del mismo.

Además de las pérdidas y daños a la infraestructura causados por los huracanes, se presenta la interrupción consecuente en la prestación de servicios básicos, siendo uno de ellos el abastecimiento de agua potable. La experiencia ha demostrado que cuando ocurre un desastre, el acceso al agua potable es totalmente indispensable para garantizar la salud de la población y para facilitar las operaciones de respuesta, recuperación y retorno a la normalidad de la misma (Vargas J.E., 2002).

El impacto de los huracanes sobre los sistemas de abastecimiento de agua potable puede ser muy variado y depende de la magnitud y localización del huracán y de la vulnerabilidad del sistema y sus componentes, tanto en el aspecto físico como en el operativo y organizativo.

En general, los daños producidos por los huracanes son los siguientes:

- Daños totales o parciales en las instalaciones, puestos de mandos y otras edificaciones de la empresa encargada de la administración y operación del sistema, tales como rotura de vidrios, techos, inundaciones, etc., debido a la fuerza de los vientos.
- La contaminación y saturación de los pozos.
- Rotura de tuberías, en los casos de paso de línea de conducción a través de ciénegas, debido a escorrentías provocadas por las marejadas.
- Roturas y daños en las tapas de los tanques elevados y superficiales.
- Contaminación del agua en los tanques y tuberías.
- Rotura de tuberías y falla de estructuras por asentamientos del terreno, debido a inundaciones.
- Daños en sistemas de transmisión y distribución de energía eléctrica, ocasionando la interrupción en la operación de equipos, instrumentos y medios.

Al proyectar una obra de infraestructura de agua potable, se deben considerar las amenazas naturales y características del área en la cual se encuentra ubicada dicha obra. Si la amenaza de los fenómenos naturales no es considerada en las etapas de planeación, diseño, construcción y operación del sistema, la población y su medio ambiente quedarán expuestas a sufrir desastres cuando estos fenómenos se presenten.

Un desastre es una situación de daño grave que altera la estabilidad y las condiciones de vida en un ecosistema, ante la presencia de una energía o fuerza potencialmente peligrosa. El daño de un desastre obedece a que el sistema y sus elementos no tienen capacidad de protegerse de la fuerza amenazante o de recuperarse de sus efectos.

Los desastres naturales son aquellos cuya energía amenazante proviene de un fenómeno natural, desencadenado por la dinámica de la naturaleza o por la intervención humana. Se subdividen en tres tipos: meteorológicos (relativos a la atmósfera y al clima), topográficos y geotécnicos (relativos a la superficie de la tierra) y tectónicos o geológicos (relativos a las fuerzas internas de la tierra).

La amenaza es el fenómeno peligroso. Se le define como la magnitud y duración de una fuerza o energía potencialmente peligrosa por su capacidad de destruir o desestabilizar un ecosistema, o los elementos que lo componen, y la probabilidad de que esa energía se desencadene.

La vulnerabilidad puede definirse como la probabilidad de que una comunidad, expuesta a una amenaza natural, según el grado de fragilidad de sus elementos, pueda sufrir daños humanos y materiales (Organización Panamericana de la Salud, 1998a).

La vulnerabilidad es entonces una condición previa que se manifiesta durante el desastre, cuando no se ha invertido suficiente en prevención y mitigación, y se ha aceptado un nivel de riesgo demasiado elevado.

La identificación y cuantificación de las deficiencias en la capacidad de operación, así como de las debilidades físicas y de organización ante solicitaciones externas en un sistema de agua potable, se le denomina análisis de vulnerabilidad y es la primera etapa para realizar la propuesta de medidas de mitigación (Organización Panamericana de la Salud, 1998b).

La identificación y cuantificación de estas debilidades constituyen un análisis de vulnerabilidad; así, la vulnerabilidad de los sistemas de agua potable puede ser analizada desde tres puntos de vista:

- Física: Consiste en la estimación de daños posibles en los componentes de la obra de infraestructura.
- Operativa: Realiza la valoración de la capacidad remanente para prestar el servicio de agua potable, que incluye el cálculo del tiempo en el cual el sistema será rehabilitado.
- Organizativa: Análisis que permite determinar la capacidad institucional y empresarial de respuesta, asociada a la organización, la experiencia y los recursos en general.

Los impactos de los huracanes se pueden disminuir y así conseguir la rápida recuperación al implementar medidas de prevención para reducir la vulnerabilidad en dicho sistema de abastecimiento de agua potable ante estos fenómenos. Para ello es necesario efectuar el análisis de vulnerabilidad, que es una herramienta de prevención importante para realizar un manejo adecuado de los efectos que los desastres naturales pueden causar en los sistemas de agua potable, es decir, evaluar la vulnerabilidad de los sistemas existentes y por construir.

En los últimos años, el estado de Yucatán recibió el embate de dos fuertes huracanes, el Gilberto (1988) y el Isidoro (2002), los cuales causaron cuantiosos daños directos e indirectos a las poblaciones afectadas, poniendo de manifiesto el alto grado de vulnerabilidad de estas comunidades. Uno de los elementos de la infraestructura que más fragilidad

demonstró es el equipamiento para el abastecimiento de agua potable de las localidades, ya que la operación de la gran mayoría de estos sistemas depende del suministro de energía eléctrica, el cual se interrumpió por prolongados períodos como consecuencia del paso de los citados huracanes. Basta citar, como ejemplo, que varias comunidades de los municipios de Chicxulub Puerto, Ixil, Telchac Puerto, Sinanché y Yobain permanecieron sin servicio de energía eléctrica por períodos de hasta 60 días, debido al paso del huracán Isidoro en septiembre del año 2002 (Gobierno del Estado de Yucatán, 2002).

La carencia del vital líquido ocasionó innumerables molestias a los habitantes, pero sobre todo puso en grave riesgo la salud pública debido al potencial brote de enfermedades de tipo hídrico que afectan principalmente a los sectores de mayor marginación. Debido a lo anterior, el Gobierno del Estado de Yucatán y el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, a través de su Fondo Mixto, apoyaron durante el año 2003, la realización del estudio “Diagnóstico del equipamiento de los sistemas de abastecimiento agua potable de poblaciones en la zona costera del estado de Yucatán como elemento de apoyo en situaciones de riesgo por amenaza de huracanes” que incluyó a las localidades siguientes: Celestún, Sisal, Chuburná Puerto, Chelem, Progreso, Chicxulub Puerto, Telchac Puerto, San Crisanto, Chabihau, Dzilam Bravo, Santa Clara, San Felipe, Río Lagartos, Las Coloradas y El Cuyo.

El objetivo del presente artículo es presentar el análisis de vulnerabilidad del equipamiento del sistema de abastecimiento de agua potable de Telchac Puerto, Yucatán, incluyendo el planteamiento de medidas que eviten interrupciones prolongadas de dicho servicio, en el caso de verse afectado por el impacto de huracanes.

### **METODOLOGÍA**

La metodología aplicada se dividió en tres etapas: investigaciones de campo y de gabinete, digitalización de la información obtenida y elaboración de las matrices de vulnerabilidad física y de las medidas de mitigación de la población estudiada.

En la primera etapa, se realizó una revisión bibliográfica con el fin de conocer las distintas metodologías de evaluación de la vulnerabilidad en sistemas de abastecimiento de agua potable utilizadas internacionalmente. De las metodologías consultadas (Organización Panamericana de la Salud, Centro Nacional de Prevención de Desastres, etc.), los métodos, técnicas y criterios propuestos por la Organización Panamericana de la Salud (OPS), que es la Oficina Regional para Latinoamérica de la

Organización Mundial de la Salud (OMS), dependiente de la Organización de las Naciones Unidas (ONU), fueron las que cubrieron en la forma más amplia y completa la problemática a estudiar y las que mejor se adaptaron a nuestras condiciones, por lo que a partir de dicha información se diseñaron los formatos de registro de información del sistema de agua potable que se estudió. Se realizaron entrevistas con los responsables del sistema de abastecimiento de agua potable a fin de conocer el funcionamiento técnico y administrativo del mismo; también se visitaron y se hizo el registro fotográfico y de geoposicionamiento de los componentes funcionales de dicho sistema de agua potable (captación, almacenamiento, red de distribución, etc.). Esta información fue integrada posteriormente a un mapa de información geográfica de la zona estudiada. La caracterización del sistema y su funcionamiento se realizó por observaciones directas (en campo) de sus componentes y a través de los planos de diseño y construcción recabados. Del análisis de esta información se determinó el estado actual de los componentes y del sistema, las debilidades de su funcionamiento físico y la ubicación de los componentes para estimar el impacto de las amenazas.

En la segunda etapa, digitalización de la información, se integraron los principales componentes del sistema de abastecimiento de agua potable que fueron georeferenciados mediante el ArcMap (que es un sistema manejador de información geográfica), al plano del estado de Yucatán, generado por Instituto Nacional de Geografía, Estadística e Informática (INEGI), y se crearon vínculos con el registro fotográfico de dicho sistema; también se elaboró el catálogo del equipamiento del sistema de agua potable estudiado. Toda la información utilizada se obtuvo de los censos realizados en la primera etapa, así como del registro fotográfico.

La matriz de vulnerabilidad física y las medidas de mitigación de daños para el sistema de agua potable estudiado ante la amenaza de huracanes, se realizó en la última etapa. Se estimaron los costos directos de vulnerabilidad física y de mitigación de daños.

### **RESULTADOS**

A continuación se presentan los resultados del análisis de vulnerabilidad realizado al sistema de agua potable de la localidad de Telchac Puerto, municipio de mismo nombre, los cuales incluyen la caracterización del sistema de agua potable, el mapa de información geográfica que ubica los principales componentes del sistema mencionado, así como la matriz de vulnerabilidad física y la propuesta de medidas de mitigación de daños para dicha localidad.

**Caracterización del sistema de agua potable**

La única localidad servida es Telchac Puerto, Municipio de Telchac Puerto, Yucatán, que se localiza al oriente de la península de Yucatán. El Municipio tiene las siguientes colindancias: al norte con el Golfo de México, con el municipio de Dzemul al poniente, Telchac Pueblo al sur y Sinanché al oriente. La superficie del terreno es plana y no existen corrientes superficiales de agua, sin embargo, hay corrientes subterráneas que forman depósitos comúnmente conocidos como cenotes. El clima es cálido-semiseco con lluvias en verano, época en la cual se presentan las llamadas sequías de verano; los vientos dominantes provienen en dirección noroeste y este. Tiene una temperatura media anual de 25.7° C y una precipitación media anual aproximada de 500 milímetros (Dirección General de Administración y Control de Sistemas Hidrológicos, 1998). La localidad de Telchac Puerto tiene una población actual estimada de 1736 habitantes.

El sistema se abastece mediante dos cenotes separados entre sí 200 m aproximadamente, ubicados al costado poniente de la carretera Telchac Puerto-Telchac Pueblo, a 3 km del centro de la población. El acceso a los cenotes se realiza por medio de caminos de terracería con vegetación baja teniendo longitudes de 15 m y 250 m aproximadamente a la carretera Telchac Puerto - Telchac Pueblo. Sobre la bóveda de los cenotes existen casetas que alojan bombas de 30 HP (Bomba A) y 20 HP (Bomba B), para la caseta conocida por el operador como cenote 1, y de 30 HP para la caseta del cenote 2, utilizada para extraer el agua. En el cenote 2, el más cercano a la población, se realiza la cloración (Véase la figura 1).

La línea de conducción está dividida en dos partes, la primera va de la zona de captación al cárcamo Telchac, el cual está ubicado a la entrada del poblado

por la carretera Telchac Puerto - Telchac Pueblo, siendo una combinación de tubería de extrupac y policloruro de vinilo (PVC) con diámetros de 12" y 8". La segunda parte de la línea de conducción que es de PVC de 4", va del cárcamo Telchac al cárcamo Miramar; este cárcamo se encuentra ubicado a 20 m al lado sur de la carretera Telchac Puerto-Progreso y a 2.5 km del cárcamo Telchac. Esta sección de la línea de conducción tiene conectadas varias tomas domiciliarias; en el cárcamo Telchac se encuentra un tanque elevado fuera de servicio.

La red de distribución de la mayor parte de la población se abastece de manera directa de la captación, utilizándose el cárcamo Telchac para el bombeo de agua hacia el cárcamo Miramar, el cual envía agua al hotel "Reef Yucatán" y una mínima parte a la población. La red de distribución de Telchac Puerto es de tubería PVC de 3" y 4" de diámetro y cuenta con 1400 tomas domiciliarias. En la figura 1 se muestra el croquis del sistema de agua potable.

El sistema lleva funcionando cerca de 30 años, sin embargo muchos de sus componentes han sido cambiados. Dos personas de la localidad se encargan de la operación del sistema de agua potable, teniendo entre sus obligaciones las de estar al pendiente del sistema de bombeo, reparar fugas en la red de conducción y distribución, así como de la cloración. El cloro es suministrado por la Junta de Agua Potable y Alcantarillado de Yucatán (JAPAY) en la caseta del cenote 2 a través de un equipo de gas cloro; con objeto de facilitar el suministro del gas cloro, la caseta no cuenta con candados en su acceso, con lo cual se corre el riesgo que el equipo de cloración pueda sufrir daños. Los equipos de bombeo ubicados en el cenote 1 y el cenote 2 trabajan en forma continua las 24 horas del día, enviando agua a la red, así como a los cárcamos Telchac y Miramar.



El cobro de las cuotas se realiza en una oficina, localizada en el Palacio Municipal, por una persona de la localidad, misma que envía la recaudación a la JAPAY. El hotel “Reef Yucatán” paga una cuota especial (la paga directamente en Mérida) y de la localidad servida, solamente el 70% de la misma paga sus cuotas.

Se aplica la Ley orgánica de la Junta de Agua Potable y Alcantarillado del Estado de Yucatán, la cual establece que los deberes, atribuciones y responsabilidades del organismo operador son: administrar, operar, conservar, ampliar y construir.

Las características particulares de los componentes básicos del sistema de agua potable de Telchac Puerto (Captación, línea de conducción y regularización) se muestran en las tablas 1, 2 y 3.

Tabla 1. Características del equipamiento de la captación.

<b>Tipo:</b> Superficial								
<p><b>Caseta:</b> Existen 3 casetas de concreto, de las cuales una se encuentra en la captación (cenote 1) y aloja en su interior una bomba y el equipo eléctrico de las dos bombas que hay en este cenote; el otro equipo de bombeo se encuentra instalado en el cenote que suministra agua a la población. La segunda caseta aloja el equipo de cloración y el equipo eléctrico de la bomba del otro cenote (cenote 2). En el cárcamo Miramar se encuentra la última caseta que contiene el equipo eléctrico de las bombas instaladas en dicho cárcamo. Todas las casetas se encuentran aseguradas mediante candados, excepto la del cenote 2, que aloja el equipo de cloración.</p> <p>La caseta del cenote 2, tiene instalado el equipo de cloración tipo gas cloro.</p>								
Cenote	Tipo de bomba	Potencia (HP)	Velocidad (rpm)	Diámetro del cabezal de descarga (pulgadas)	Bombeo por día (hora)	Transformador (KVA)	Arrancador e interruptor	Medidor de gasto
1	Turbina vertical	30 (Bomba A)	Información no disponible	6	24	75	Existente	No existe
	Turbina vertical	20 (Bomba B)	Información no disponible	6	24		Existente	No existe
2	Turbina vertical	25	1755	4	24	30	Existente	No existe

Tabla 2. Características de la línea de conducción.

Tramo	Diámetro (pulgadas)	Material	Longitud aproximadas (km)
-------	---------------------	----------	---------------------------

Captación – Cárcamo Telchac	12	PVC	1.9
	8	Extrupac	0.6
		PVC	0.5
Cárcamo Telchac – Cárcamo Miramar	4	PVC	2.5

Tabla 3.  
Características del equipamiento de la regularización.

Tipo	Capacidad (m <sup>3</sup> )	Número de bombas (pieza)	Tipo de bomba	Potencia (HP)	Velocidad (rpm)	Diámetro de descarga del cabezal (pulgadas)	Bombeo por día (hora)	Transformador (KVA)	Arrancador e interruptor (pieza)	Medidor de gasto (pieza)
Elevado	Se encuentra fuera de servicio.									
Superficial “Cárcamo Telchac”	200	2	Centrífuga horizontal	40 20	1755 1755	4 4	24 Variable	75	Existente	No existe
Superficial “Cárcamo Miramar”	125	2	Centrífuga horizontal	20 20	1755 1755	4 4	24 Ocasionalmente	30	Existente	No existe

**Mapa de información geográfica**

Los principales componentes del sistema de agua potable estudiado, fueron geoposicionados y ubicados utilizando el ArcMap, en un sistema de información geográfica (SIG); también fueron vinculados a dichos componentes, fotografías de los mismos. La forma en que se integra toda la información mediante el SIG puede verse en la figura 2.

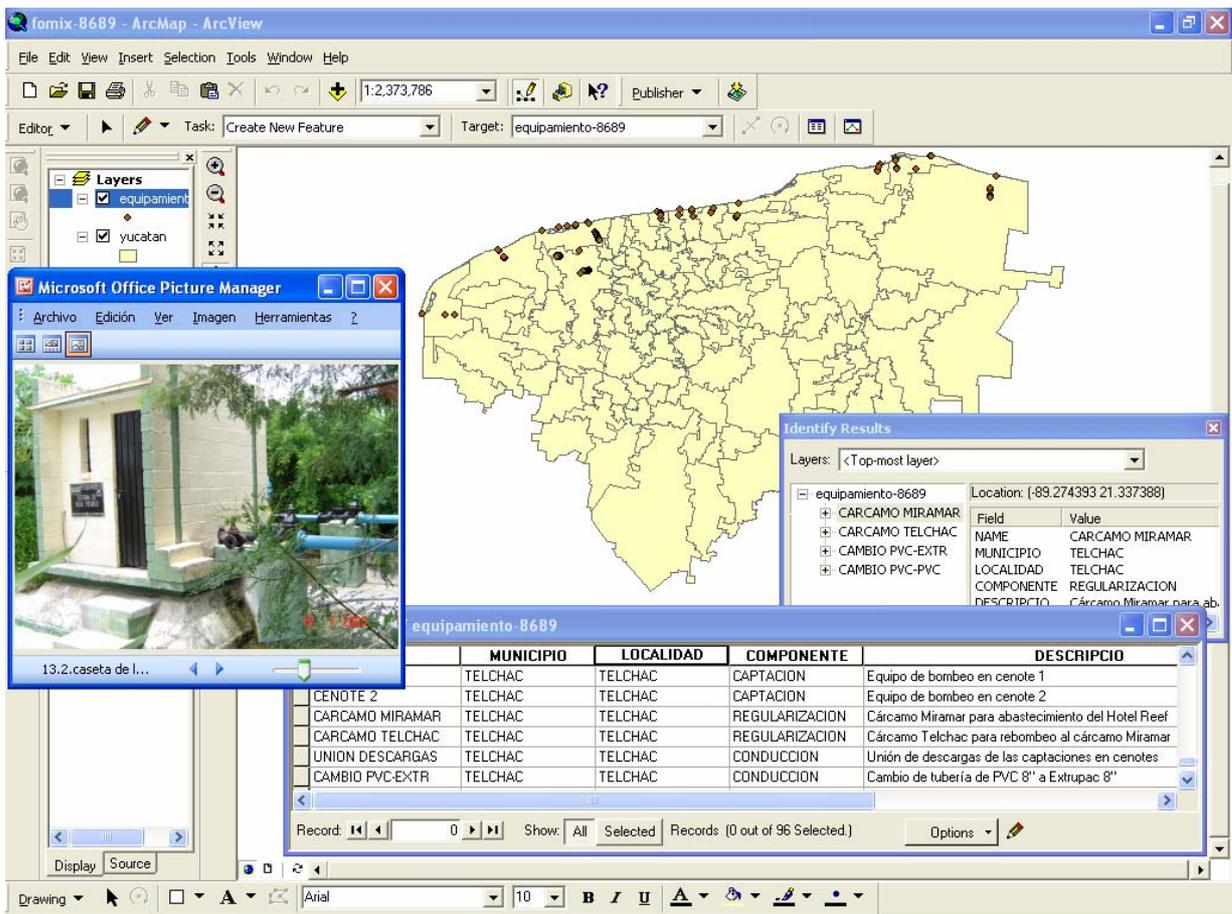


Figura 2. Componentes del sistema de agua potable de Telchac Puerto, Yucatán en el Sistema de Información Geográfica.

**Matriz de vulnerabilidad física**

Según lo indicado inicialmente, la amenaza que nos afecta, debido a nuestra posición geográfica, es el huracán; por lo tanto la matriz de vulnerabilidad física y posteriormente las medidas de mitigación, estarán enfocadas a los daños que este fenómeno produce.

Para la elaboración de la matriz de vulnerabilidad física, se tomaron en cuenta los daños ocasionados por el huracán “Isidoro”, que con una intensidad 3 en la escala Saffir-Simpson, causó innumerables daños a la población, a la economía y en general, al estado de Yucatán. A continuación en la tabla 4, presentamos la matriz de vulnerabilidad física del sistema de agua potable de Telchac Puerto.

**Propuesta de medidas de mitigación**

El complemento lógico y deseable de un estudio de análisis de vulnerabilidad debe ser la ejecución de las necesarias medidas de prevención y mitigación para corregir las debilidades encontradas. Por ello, es muy importante que la formulación de recomendaciones técnicas y la estimación de los costos de las medidas de mitigación, formen parte del propio estudio de vulnerabilidad. En este caso se trata de un primer acercamiento al problema, por lo que no se han realizado proyectos ejecutivos al detalle, mismos que requerirían estudios adicionales sobre diseños de ingeniería y estimación de costos.

Con la información proporcionada en la matriz de vulnerabilidad física, se proponen las medidas de mitigación de daños, cuyos resultados se muestran en la tabla 5.

Tanto en la matriz de vulnerabilidad física, como en la propuesta de medidas de mitigación, los costos estimados fueron únicamente los costos directos de reparación de los daños y de las medidas de mitigación, respectivamente; en ambos casos, se contó con la colaboración de un consultor externo con amplia experiencia en este tipo de trabajos.

Tabla 4.  
**Matriz de vulnerabilidad física ante la amenaza de huracanes.**

<b>Componente Elemento/Equipo</b>	<b>Estado actual (Condición desfavorable)</b>	<b>Daños estimados (Tipo y número)</b>	<b>Costo de los daños (Pesos)</b>
<b>Captación</b>			
Tres bombas tipo turbina vertical, dos de 30 HP (en un cenote) y una de 20 HP (en otro cenote).	Ausencia de generador auxiliar de energía eléctrica y equipos de bombeo sin cabezal mixto.	Suspensión del servicio de agua potable hasta por dos meses, originada por la interrupción del suministro de energía eléctrica por parte de la C.F.E. Los habitantes tienen que proveerse de agua a través de pipas, por las que se pagan considerables cantidades de dinero.	656 000
Dos casetas de equipo eléctrico.	No cuentan con cerraduras o candados que eviten la entrada de agentes ajenos al sistema. El poste del transformador eléctrico de cada una de las casetas carece de base rigidizante.	Los cables de los equipos eléctricos pueden ser dañados por vandalismo y por lo tanto perjudicar el funcionamiento de las bombas. Se estima que un poste de algún transformador eléctrico (75 KVA y 30 KVA) puede ser derribado por vientos fuertes.	59 966
<b>Línea de conducción</b>			
Tubería de 8" de diámetro de extrupac.	Las tuberías de 8" de diámetro tienen partes enterradas y partes superficiales (expuestas). Actualmente existen fugas en la línea.	Las fugas existentes empeorarían el suministro de agua en caso de alguna emergencia, pues provocarían pérdidas de agua en la línea. Reparación de cuatro fugas por termofusión.	3 996

1900 m de tubería de 12" de diámetro de PVC.	Los postes de energía eléctrica se encuentran a un costado de la línea de conducción a una distancia de tres metros.	Si se llegara a caer algún poste sobre la línea de conducción, ésta podría quedar fuera de servicio; se estima la reparación de cuatro rupturas en un tramo de 400 m.	1 564
--	--	---	-------

Tabla 4.

**Continuación de la matriz de vulnerabilidad física ante la amenaza de huracanes.**

<b>Componente Elemento/Equipo</b>	<b>Estado actual (Condición desfavorable)</b>	<b>Daños estimados (Tipo y número)</b>	<b>Costo de los daños (Pesos)</b>
<b>Almacenamiento / Cloración</b>			
Cárcamo de rebombeo Telchac (una bomba centrífuga de 40 HP y otra de 20 HP).	El sitio donde se encuentran alojadas las bombas está a un nivel aproximadamente igual al de la carretera; así mismo no cuenta con ningún tipo de drenaje.	La inundación del cuarto de bombas dejaría fuera de servicio a las dos bombas centrífugas de 40 HP y de 20 HP.	28 700
Caseta de equipo de cloración (ubicada en la zona de captación).	Carece de cerradura y candados para proteger los equipos que aloja.	Pérdida del equipamiento por vandalismo.	6 320
<b>Red de distribución</b>			
Tuberías de PVC de 4" de diámetro.	3.5 km de tubería de PVC enterrada a 20 cm de la superficie de rodamiento.	La entrada de mar hacia la población provocaría zanjas en las calles, produciendo la ruptura de aproximadamente 1400 m de tubería de 4" de diámetro.	235 200
1400 tomas domiciliarias.	Se encuentran enterradas a unos escasos 15 ó 20 cm dentro la arena.	Las calles podrían inundarse y deslavarse, quedando expuestas aproximadamente 280 tomas domiciliarias que fácilmente pueden dañarse.	270 480
<b>TOTALES (Costos directos)</b>			<b>1 262 226</b>

Tabla 5.  
Medidas de mitigación de daños.

Componente Elemento/Equipo	Prioridad de atención	Medidas de mitigación	Costos (Pesos)
<b>Captación</b>			
Tres bombas tipo turbina vertical, dos de 30 HP (en un cenote) y una de 20 HP (en otro cenote).	1	Suministro e instalación de un generador de energía eléctrica de 100 KW, 125 KVA, accionado con diesel, para el bombeo directo de agua a la red en situaciones de emergencia, empleando una de las bombas existentes de 30 HP.	403 271
Dos casetas de equipo eléctrico.	2	Construcción de bases rigidizantes para cada uno de los dos postes de los transformadores eléctricos. Suministro e Instalación de cerraduras a las dos casetas.	3 844
<b>Línea de conducción</b>			
Tubería de 12" de diámetro de PVC.	2	Encoframiento de 400 m de la tubería de PVC (superficial).	44 800
<b>Red de distribución</b>			
Tomas domiciliarias.	1	Suministro e instalación de 14 tomas comunitarias en lugares estratégicos de la localidad que entrarán en operación en situaciones de emergencia.	38 150
<b>TOTALES (Costos directos)</b>			<b>490 065</b>

### CONCLUSIONES

El principal daño ocasionado por el paso del huracán al sistema de agua potable de Telchac Puerto, consistió en la suspensión del suministro de energía eléctrica que aunado a la carencia de plantas de emergencia o de cabezales mixtos o de engranes en los bombas de extracción de agua en las zonas de captación, produjo la falta de agua potable

en la localidad. Se propone para reducir la vulnerabilidad de este componente, proporcionar a la localidad una planta generadora de energía eléctrica, de tal manera que los problemas de extracción de agua debidos a suspensiones del servicio de energía eléctrica sean reducidas a un mínimo. Asimismo, para evitar el derribo de los postes de los transformadores eléctricos se sugiere la construcción de bases rigidizantes a los mismos; para evitar actos de vandalismo y pillaje, como consecuencia de la presencia del huracán, se propone la colocación de cerraduras y candados en las casetas de la zona de captación.

Una parte de la línea de conducción realizada con tubería de extrupac, se encuentra expuesta en algunos tramos, por lo que presenta fugas en algunos sitios debido al vandalismo; para evitar descensos de presión y fugas, éstas últimas deberán repararse y realizar el encofrado de dicha línea de conducción.

En el sistema de agua potable de Telchac Puerto existe un tramo de la red de distribución muy cercano a la playa, así como tomas domiciliarias enterradas a unos 15 ó 20 cm debajo de la arena, por lo que una inundación provocada por las marejadas del huracán socavaría el terreno, produciéndose así, la ruptura de dichas tuberías y de las tomas domiciliarias. Se propone la construcción de tomas domiciliarias comunitarias distribuidas en la población con objeto de suministrar agua para el consumo a la población fija de la localidad.

Finalmente, del análisis de costos directos de vulnerabilidad física y de medidas de mitigación de daños, podemos observar que éstos últimos son menores, por lo que es adecuada técnica y económicamente la ejecución de dichas medidas.

#### **Agradecimientos**

Este trabajo de investigación fue financiado por los Fondos Mixtos CONACYT – Gobierno del Estado de Yucatán a través del Convenio YUC-2002-C01-8689.

#### **BIBLIOGRAFÍA**

1. Capurro L. (2001). "Huracanes, tifones, baguíos, willy-willies y ciclones", Avance y Perspectiva, CINVESTAV, México, Julio-Agosto.
2. Chang K. (2004). "Introduction to Geographic Information Systems", 2° edition, McGraw-Hill, New York.
3. Centro de estudios para la preparación y evaluación económica de proyectos. (1999). "Apuntes sobre evaluación social de proyectos", Banco Nacional de Obras y Servicios Públicos, S.N.C., México.
4. Chrisman N.R. (2002) "Exploring geographic information systems", 2° edition, John Wiley & Sons, New York.
5. Comisión Nacional del Agua. (1994). "Manual de diseño de agua potable, alcantarillado y saneamiento, Libro V, Ingeniería básica, Estudios básicos, Datos básicos", México.
6. Comisión Nacional del Agua. (1994). "Manual de diseño de Agua Potable, alcantarillado y saneamiento, Libro II, Proyecto, Agua potable, Redes de distribución", México.
7. Dirección General de Administración y Control de Sistemas Hidrológicos. (1998). "Sinopsis geohidrológica del Estado de Yucatán", Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, Subsecretaría de Infraestructura Hidráulica.
8. Gobierno del Estado de Yucatán. (2002). Informe final del paso del huracán Isidoro en Yucatán, México.
9. Harmon J.E., Anderson S.J. (2003). "The design and implementation geographic information systems", John Wiley & Sons, New Jersey.
10. Organización Panamericana de la Salud. (1998). "Mitigación de desastres naturales en sistemas de agua potable y alcantarillado sanitario: guías para el análisis de vulnerabilidad", Organización Mundial de la Salud.
11. Organización Panamericana de la Salud. (1998). "Manual para la mitigación de desastres naturales en sistemas rurales de agua potable", Organización Mundial de la Salud.
12. Organización Panamericana de la Salud, Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. (2001). "Emergencias y desastres en sistemas de agua potable y saneamiento: guía para una respuesta eficaz", Organización Mundial de la Salud.
13. Secretaría de Gobernación. (2001). "Plan nacional de protección civil 2001-2006", México.
14. Vargas J. E. (2002). "Políticas públicas para la reducción de la vulnerabilidad frente a desastres naturales y socio-naturales", Organización de las Naciones Unidas. Comisión Económica para América Latina y el Caribe.

15. Valdez, E.C. (1992). “Abastecimiento de Agua Potable”, Vol. I, UNAM, Facultad de Ingeniería, 4ª Ed., México.
16. Walski T., Chase, D.V., Savic D. (2001) “Water Distribution Modeling”, Haestad Methods, Inc., First Edition.
17. Zapata Martí R., Caballeros R., Mora S. (2000). “Un tema del desarrollo: La reducción de la vulnerabilidad frente a los desastres”, Organización de las Naciones Unidas. Comisión Económica para América Latina y el Caribe.