

V E R A C R U Z

Biblioteca del especialista



Las inundaciones
de 2010 en Veracruz
Vulnerabilidad
y adaptación

Adalberto Tejeda Martínez
Coordinador

Estela Montes Carmona
Clorinda Sarabia Bueno
Coordinadoras asociadas

Universidad Veracruzana

Dr. Raúl Arias Lovillo
Rector

Dr. Porfirio Carrillo Castilla
Secretario Académico

Lic. Víctor Aguilar Pizarro
Secretario de Administración y Finanzas

Dr. César Ignacio Beristáin Guevara
Director General de Investigaciones

Lic. Claudia Díaz Rivera
Responsable técnica de la colección La Ciencia en Veracruz

La edición de este libro se realizó gracias al apoyo del Fondo Mixto de Ciencia y Tecnología, integrado por el Estado de Veracruz de Ignacio de la Llave y el Conacyt, al proyecto 144382, Difusión de la Labor de los Investigadores Científicos y Tecnológicos en el Estado de Veracruz, mediante la colección de libros intitulada: **La Ciencia en Veracruz**.

Coordinador general de la colección La Ciencia en Veracruz / Víctor Manuel Alcaraz Romero

Coordinación editorial / Martha Poblett Miranda

Diseño editorial / Humberto Brera

Corrección de estilo / Ana María Carbonell León y Rosario Ponce Perea

Material manuscrito / Juana Zepeda Díaz, Gloria Cuevas Guillaumin y Uriel Bando Murrieta

Primera edición

D.R. © 2012. Consejo Veracruzano de Investigación Científica y Desarrollo Tecnológico

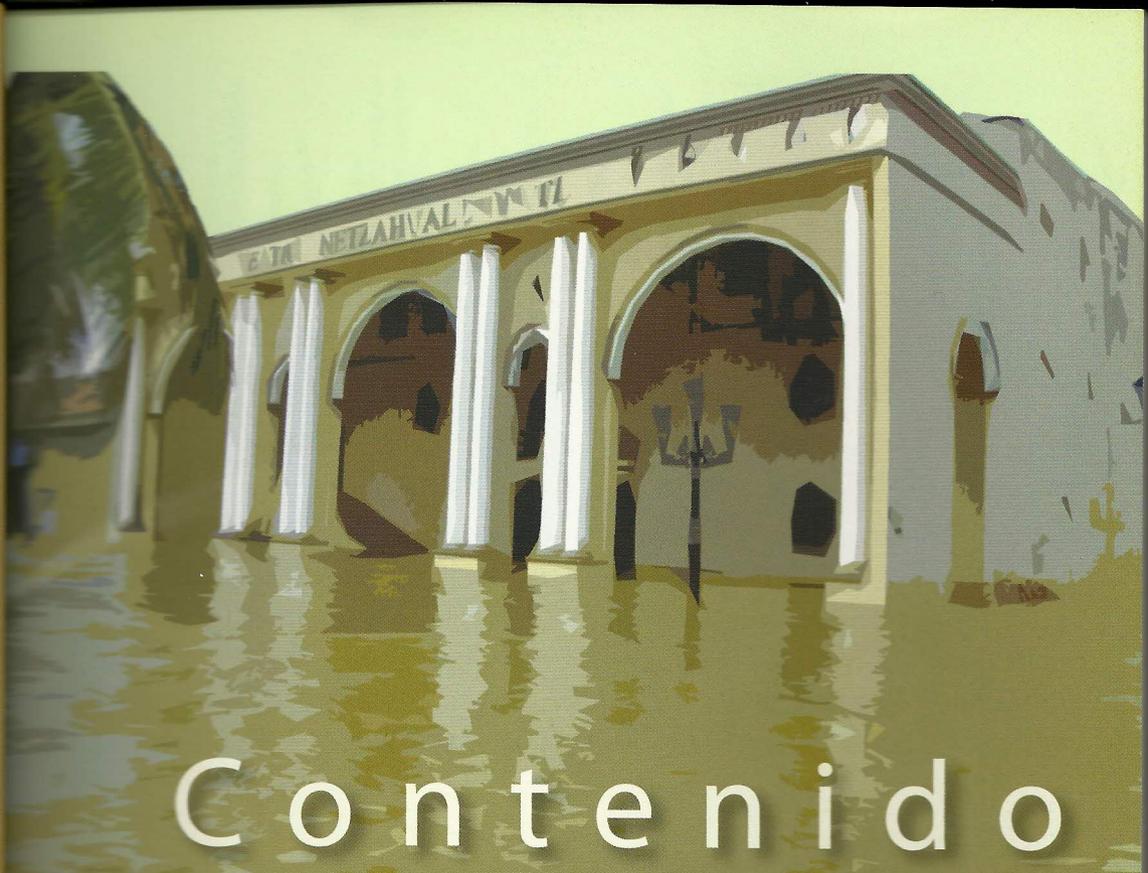
Esta obra es propiedad intelectual de sus autores, y los derechos de publicación han sido legalmente aceptados y autorizados.

Prohibida su reproducción total o parcial por cualquier medio sin autorización expresa y por escrito de su legítimo titular de derechos.

ISBN Colección La Ciencia en Veracruz: **978-607-9090-00-5**

ISBN Las inundaciones de 2010 en Veracruz. Vulnerabilidad y adaptación: **978-607-9090-15-9**

Impreso en México / Printed in Mexico



Contenido

INTRODUCCIÓN	6
– Cotaxtla: un municipio que se levanta del desastre. Estrategias sustentables ante la presencia del cambio climático	12
– Propuesta para estimar la vulnerabilidad de la zona costera Veracruz-Boca del Río ante fenómenos hidrometeorológicos	34
– Zonas de abastecimiento de agua y albergues temporales en inundaciones y terremotos	60
– Atención psicosocial en desastres por inundaciones en el estado de Veracruz	106
– La salud pública veterinaria en el bajo Papaloapan veracruzano en condiciones de inundación	126
– Estrategias para reducir la vulnerabilidad de las unidades de producción de tilapia ante inundaciones en Veracruz	144
– Elementos clave de la capacidad adaptativa ante riesgos por fenómenos hidrometeorológicos extremos en el estado de Veracruz: una propuesta metodológica	168
SIGLARIO	199
BIBLIOGRAFÍA	201



El libro *Las inundaciones de 2010 en Veracruz. Vulnerabilidad y adaptación* terminó de imprimirse en los talleres gráficos de Fitolitográfica ARGO, en la Ciudad de México, en el mes de junio de 2012. Los interiores están fabricados en couché mate de 135 g y los forros en cartulina sulfatada de 14 pts. Las familias tipográficas utilizadas son Myrad Pro y Baskerville.

El tiraje consta de 1 500 ejemplares.

Zonas de abastecimiento de agua y albergues temporales en inundaciones y terremotos

Iris Neri Flores
Guadalupe Riquer Trujillo
Francisco Williams Linera
Regino Leyva Soberanis
Ma. Estela Montes Carmona
Roberto Rivera Baizábal
Javier Lermo Samaniego



INTRODUCCIÓN

En México, el Sistema Nacional de Protección Civil ha adoptado la clasificación de los riesgos de desastres de acuerdo al tipo de agente perturbador que los produce. Se distinguen así los riesgos de origen geológico, hidrometeorológico, químico, sanitario y socio-organizativo.

Se dispone de un conocimiento general y cualitativo de la gran variedad de fenómenos que pueden causar desastres en el territorio nacional. En el país se destacan los fenómenos hidrometeorológicos por su frecuencia y su carácter recurrente. Al encontrarse en una región intertropical está sujeto a los embates de huracanes y a las lluvias intensas que causan inundaciones y deslaves. Sin embargo, dado que México forma parte del llamado Cinturón de Fuego del Pacífico, también los terremotos han causado efectos devastadores en ciertos años y sitios, aunque a más largo plazo.

En un desastre hay servicios vulnerables como el abastecimiento de agua; se pueden dañar las instalaciones y tuberías o interrumpirse este servicio por falta de energía eléctrica (OPS, 1999). La reorganización del suministro de agua potable puede tomar meses o años. El transporte de agua en tanques o embotellada a las poblaciones afectadas para prevenir epidemias es una solución costosa, tardada y temporal. Ante esta situación, una alternativa son los recursos subterráneos, que pueden estar protegidos por el ambiente físico, y que con una infraestructura adecuada para su explotación podrían proveer a la población del agua necesaria, remplazando los sistemas dañados. Como medida de prevención, estos recursos

tienen que ser estudiados para seleccionar los sitios que pueden ocuparse para su explotación ante un desastre. Un aspecto importante de esta estrategia, es que la gente logre hacerse cargo, con su propio conocimiento e infraestructura, de restablecer inmediatamente los sistemas de agua potable, y que la inversión se designe para la reconstrucción general (UNESCO, 2006).

La atención a las emergencias con prácticas dirigidas a la recuperación del desastre son acciones claramente reconocidas y apoyadas por los gobiernos y la población; empero, la reducción del riesgo mediante la prevención sigue siendo un tema comprendido y tratado sólo a niveles técnicos y en foros académicos, lo que hace difícil la justificación de la inversión en este tema. Para la toma de decisiones de prevención es necesario disponer del conocimiento científico.

Manejo de riesgo

Conocer el riesgo es la base para la planificación preventiva y el manejo de desastres. Por la característica de ocurrencia súbita de algunos fenómenos, no siempre es posible evitar la amenaza o advertir a tiempo a la población, pero siempre será posible tomar acciones preventivas destinadas a reducir el impacto de los mismos y planear el manejo de desastres. Los terremotos son sucesos infaustos e inesperados que sorprenden a la población con poca o ninguna preparación; las inundaciones, en cambio, son más fácilmente predecibles, aunque son más frecuentes, y son, básicamente, el resultado de una precipitación excesiva en ciertas estaciones y regiones, que se agrava por el cambio de uso de

suelo y el establecimiento de poblaciones en zonas cercanas a los cauces de los ríos (www.cenapred.unam.mx).

El manejo de las situaciones de emergencia se puede dividir en tres fases (OPS, 1999):

- **Fase 1.** Predesastre-planificación preventiva. Las medidas preventivas se refieren a las mejoras físicas o estructurales. Además, una organización eficiente debe incorporar conceptos de prevención en todas sus actividades, incluidas las operaciones, el mantenimiento y la administración.
- **Fase 2.** Respuesta ante la emergencia. Evaluación rápida del daño y las necesidades. La evaluación incluye la descripción del daño, la acción requerida, la capacidad disponible y los recursos humanos y materiales necesarios.
- **Fase 3.** Rehabilitación. El objetivo de las reparaciones es restaurar los componentes dañados para que al menos recuperen las condiciones que tenían antes del desastre. Por lo general, las reparaciones provisionales se convierten en reparaciones deficientes de largo plazo y pueden aumentar la vulnerabilidad del sistema.

Un requisito esencial para la puesta en práctica de las acciones de protección civil es contar con diagnósticos de riesgos, es decir, conocer las características de los eventos que pueden tener consecuencias desastrosas y determinar la forma en que estos eventos inciden en los asentamientos humanos, en la infraestructura y en el entorno.

La ocurrencia de un desastre implica la conjunción de dos factores: un fenómeno externo, natural o antropogénico, que alcanza proporciones extraordinarias, y ciertos asentamientos humanos

y sistemas físicos expuestos a la acción de dicho fenómeno. Se llama peligro (P) a la probabilidad de que se presente un evento de tal intensidad que pueda ocasionar daños en un sitio dado. Se define como grado de exposición (E), a la cantidad de personas, bienes y sistemas que se encuentran en el sitio considerado y que es factible que sean dañados por el evento. Se llama vulnerabilidad (V) a la propensión de estos sistemas a ser afectados por el evento; la vulnerabilidad se expresa como una probabilidad de daño. Finalmente, el riesgo es el resultado de tres factores:

$$\text{Riesgo} = \text{Peligro} \times \text{Exposición} \times \text{Vulnerabilidad}$$

En este esquema, el riesgo se expresa como un resultado posible de un evento, ya que (P) y (V) son dos probabilidades (Cenapred, 2004).

Un ejemplo de la combinación de peligros que ubicó a los estados de Veracruz y Puebla en los primeros lugares en número de víctimas mortales (647) en México, fue lo ocurrido en el sismo del 3 de enero de 1920, cuando el mayor número de personas (419) se ahogó por las grandes avalanchas de lodo que se generaron por las vibraciones en terrenos inestables de algunas laderas adyacentes al cauce del río Huitzilapan; y el resto murió bajo los escombros de las construcciones (Suárez, 1991).

Abastecimiento de agua

- **Inundaciones.** En el caso de desastres, es prioritario el abastecimiento de agua en las áreas donde aumentan los riesgos de salud, como son

las densamente pobladas (periferias urbanas y albergues temporales, por ejemplo) y aquellas que requieran del servicio con urgencia (hospitales, clínicas, bomberos). Es imperativo identificar qué áreas estarán sumergidas durante las inundaciones, así como las diferencias entre eventos con grandes extensiones de inundación que pueden durar semanas contra inundaciones rápidas, de 24 horas o menos. Durante las inundaciones, los ríos no sólo cargan grandes volúmenes de agua, sino también grandes cantidades de sedimentos. Por ejemplo, si los basureros, almacenes industriales y plantas de tratamiento se inundan, el resultado puede ser la contaminación tanto de agua superficial como de los acuíferos (OPS, 1999).

- **Terremotos.** Una de las principales preocupaciones relacionadas con los terremotos es el daño y la destrucción de infraestructura, inclusive de los sistemas de agua, sanitarios y de suministro. En 1995, el terremoto de Kobe (Japón) resultó en muchos incendios que se salieron de control, la ocurrencia de deslizamiento en pendientes y fenómenos de licuación. El 12 de enero de 2010, Haití sufrió uno de los terremotos más devastadores del país, a un año del terremoto el cólera sigue cobrando víctimas (http://www.who.int/csr/don/2010_10_28/es/index.html).

Estructuras resistentes ante desastres

Las construcciones resistentes contribuyen a la mitigación de los efectos de los sismos y/o inundaciones,

por ello, no sólo son necesarias acciones inmediatas en las construcciones nuevas, sino también en las ya existentes, principalmente en aquellas que al quedar fuera de servicio en el caso de un desastre signifiquen un impacto potencial mayor (*Manual de Diseño de Obras Civiles de la CFE-2008: MDOCFE-2008; Reglamento de Construcciones para el D.F. y sus Normas Técnicas Complementarias 2004: NTC-2004*). Si se logra reducir los efectos directos o indirectos en estas construcciones para fenómenos como los sismos, se reduce también el riesgo que pueden causar otros fenómenos como las inundaciones o los huracanes. Sólo hay que recordar que casi siempre la pérdida de vidas humanas está relacionada con la falla en las construcciones.

Propuesta metodológica

En este trabajo se define una propuesta metodológica para identificar zonas estratégicas menos vulnerables a las inundaciones y terremotos en zonas urbanas, e identificar los sitios favorables para extracción de agua subterránea como fuente de suministro de agua en situaciones de emergencia. Asimismo, se valoran las construcciones de servicios estratégicos para planes de contingencia como hospitales, plantas de tratamientos, centrales de bomberos y albergues. En el esquema 2 se presenta una propuesta de organización de la información en un Sistema de Información Geográfica. Se proponen dos mapas de peligros: microzonificación sísmica y microzonificación por inundaciones; asimismo, se estudia la hidrogeología de la zona para identificar aquellas zonas potenciales para la extracción de agua de los mantos

Microzonificación
sísmica

Microzonificación
inundaciones

Hidrogeología

Servicios
estratégicos

SIG

Fuentes
de abastecimiento
emergentes

Albergues
temporales

acuíferos. También se identifican los servicios estratégicos que pudieran resultar dañados ante una emergencia, y se señalan los sitios que pueden funcionar como albergues.

■
Esquema 2
Propuesta
metodológica

Microzonificación por inundaciones

Uno de los fenómenos naturales que ha afectado de manera considerable a nuestro país son las inundaciones. Las cuencas de Veracruz en particular, por su configuración topográfica y por la existencia de múltiples ríos tributarios, han sido históricamente propensas a las inundaciones como consecuencia de las crecientes del río. Destacan las inundaciones de 1999 y 2005, que ocurrieron en los primeros días de octubre, cuando la temporada de lluvias estaba concluyendo, los cuerpos de agua estaban a su mayor capacidad, y el suelo se encontraba saturado de humedad, a tal grado que el terreno no pudo absorber la lluvia. La cifra de damnificados son contrastantes: menos de cien mil en 1999, contra casi millón y medio en 2005.

En 1999 se desbordaron cinco cuerpos de agua, contra 31 en 2005, se afectaron 12 000 viviendas en 1999, y el huracán *Stan* afectó 135 mil casas en el 2005. Los albergues cobijaron a 18 000 personas en 1999 y a 200 000 en 2005. Mientras que 20 tramos carreteros y puentes fueron fracturados en 1999 y 170 en 2005. Es decir, la relación de daños es de 1 a 10. Los municipios afectados en 1999 fueron 83, *Stan* alcanzó a 170. En 2007, Tabasco sufrió graves inundaciones que afectaron al 80% del territorio. En 2008, Minatitlán sufrió inundaciones por las llamadas “vaguadas”, lluvia sin aire que arroja mayor cantidad de agua que un huracán (mapa 5). Para reducir estos efectos es acuciante un manejo integral de cuenca, la implementación de acciones de reforestación y la construcción de pequeñas obras de retención de agua y suelo en zonas altas. (Cruz y Tobón, 2008). En el mapa 5 se presentan las inundaciones que han afectado a las cuencas del estado de Veracruz.

Mapa 5
Inundaciones en las
cuencas del estado
de Veracruz

Fuente: Conagua, 2009



En general, para la identificación de zonas inundables es necesario determinar las áreas o regiones vulnerables, evaluar la frecuencia y magnitud de las inundaciones en base a datos históricos, estimar el número y distribución de la población y analizar el impacto. La metodología para la evaluación de las zonas inundables, como lo indica la elaboración del *Atlas de peligros municipales* en su mayor nivel de especialización (Sedesol-Cenapred, 2004), consiste en el siguiente procedimiento:

- Cartografía general de inundaciones históricas: se realizan encuestas a la población sobre inundaciones históricas, incluyendo fecha de evento, altura máxima alcanzada, duración de la inundación, inventario de daños físicos y equipamiento dañado. Inventario de enfermedades ocasionadas por el evento. Escala de información de al menos 1:50 000.
- Colección de cartografía digital y de imágenes de satélite de la zona de estudio.
- Determinación de parámetros fisiográficos de la cuenca y subcuencas por tributario de orden 2 en la clasificación de Horton-Strahler (Llamas, 1993).
- Delimitación real de cuencas urbanas en función de la red de colectores existente, utilizando planos digitales con detalle de información topográfica.
- Inventario de la infraestructura hidráulica existente (con influencia en el régimen pluvial).
- Realización de un análisis estadístico de las variables de precipitación máxima y caudal máximo, para los periodos de retorno de 2, 10, 50 100 y 200 años (Díaz-Delgado *et al.*, 2005).

- Empleo de modelos hidrológicos e hidráulicos para la determinación del caudal e hidrograma de análisis, tales como el HEC-RAS, HMS, MIKE11, SWMM u otros equivalentes (Chotw *et al.*, 1994).
- Realización de la topografía de campo con resolución de curvas de nivel a cada metro en las zonas.
- Delimitación de zonas inundables para los periodos de retorno analizados, en donde existe una población expuesta a inundaciones debido a la cercanía de un arroyo (Cenapred, 2004):
 - ~ Identificación de la cuenca del arroyo.
 - ~ Características fisiográficas de la cuenca.
 - ~ Estimación del escurrimiento crítico a la salida de la cuenca.
 - ~ Determinación del área hidráulica permisible.
 - ~ Levantamiento topográfico del arroyo.
 - ~ Determinación del área geométrica de las secciones transversales.
 - ~ Comparación entre el área hidráulica permisible y el área geométrica.
 - ~ Determinación de áreas inundables para diferentes periodos de retorno.
 - ~ Identificación de la vulnerabilidad en la vivienda, considerando el tipo de vivienda y las características del material de construcción.

Por otra parte, el Centro de Ciencias de la Tierra, de la Universidad Veracruzana, está desarrollando una propuesta para la microzonificación de peligros por inundaciones en áreas urbanas, considerando el análisis de un Modelo Digital de

Elevaciones, como entrada para un modelo hidrológico (Multiple Flow Direction Algorithms), para la identificación de la dirección, acumulación de flujo, red hidrológica de cuencas y el índice de poder del río. Los resultados se presentarán como mapas de zonificación de peligros por inundación de acceso público en *Google earth* (Torres *et al.*, 2010).

Microzonificación sísmica

Se ha observado que tanto la distribución de las construcciones dañadas como la magnitud de los daños que sufren éstas por un terremoto en áreas urbanas presentan fuertes variaciones en función del tipo de suelo (efecto de sitio). Así, construcciones con características estructurales similares se pueden colapsar en un sitio, y no sufrir ningún daño en otro ubicado a unos cuantos metros. Los daños se acentúan en aquellos sitios con sedimentos poco consolidados (blandos), principalmente arcillas, arenas y limos, normalmente con grandes espesores en cuencas aluviales o depósitos de barra, en parte porque en estos sitios se amplifica la onda sísmica. Es decir, las zonas bajas o de inundación, antiguos lechos de ríos o espejos de agua pueden presentar estas características. Por lo anterior, es preciso analizar las características del suelo para identificar el efecto de sitio.

En general, la metodología para la evaluación del riesgo sísmico en una zona de interés consiste en:

- Diagnóstico general de la zona de estudio, analizando estudios previos y datos existentes para una interpretación geológica, geofísica y geotécnica.

- Identificación de la problemática particular en la zona.
- Instrumentación, mediante la cual se deben establecer redes de monitoreo sísmico, garantizando la mayor cobertura posible.
- Elaboración de una historia sísmica y delimitación del área de estudio, para lo que es importante consultar catálogos sísmicos de la región y, además, conocer la tendencia del crecimiento urbano.
- Identificación del peligro sísmico con base en la historia sísmica.
- Identificación del riesgo sísmico, para lo que es necesario realizar estudios que evalúen y delimiten el efecto de sitio, como son:

- ~ Geología, geotecnia e hidrología.
- ~ Delimitación de zonas según periodo dominante del sitio.
- ~ Realización de estudios geofísicos en cada zona para determinar la velocidad de onda de corte de los estratos.
- ~ Identificación de un modelo estratigráfico unidimensional por zona.
- ~ Determinación de parámetros para el diseño sísmico.
- ~ Realización de un estudio de vulnerabilidad de las construcciones en las diferentes zonas identificadas.

En este trabajo se describirá más adelante y con más detalle la metodología para la determinación de la microzonificación sísmica aplicada a la Zona Conurbada Veracruz-Boca del Río (ZCV).

El agua subterránea en situaciones de emergencia

Después de resguardar a la población afectada por una situación de emergencia, la prioridad para auxiliar a la población y a los socorristas es la distribución adecuada del agua potable. Una opción para mitigar la escasez de agua en desastres es la utilización del agua subterránea. Estos recursos tienen que ser investigados para seleccionar los sitios que pudieran ocuparse ante un desastre. En general, el agua subterránea es de buena calidad y está sujeta a pocas variaciones estacionales, en los sistemas de flujos intermedios a regionales. Los acuíferos profundos resistentes, o aun el agua fósil, requiere ser evaluada y probada para proveer rendimientos adecuados, por lo que el suministro ante una situación de emergencia no tiene que ser visto como un sustituto de las fuentes regulares, y debe ser utilizado solamente durante la emergencia. La investigación de recursos subterráneos se basa en técnicas hidrogeológicas, geofísicas, geoquímicas, isotópicas y de percepción remota. En general, se asume que el ambiente subterráneo provee un grado de protección de los acuíferos ante los impactos naturales y humanos. Cuando este grado de protección se desequilibra en el acuífero, se conoce como “vulnerabilidad del agua subterránea”, que es una propiedad intrínseca de un sistema acuífero.

Los mapas de vulnerabilidad en hidrogeología se han desarrollado, junto con los Sistemas de Información Geográfica (SIG), como herramientas para el análisis y procesamiento de información para la toma de decisiones (AVR, 2003). Estos mapas de vulnerabilidad se fundamentan en métodos de índices, entre los que destacan DRASTIC (Aller

et al., 1987), GOD (Foster y Hirata, 1988), AVI (Van Stempvoort *et al.*, 1992), SINTACS (Civita *et al.*, 1990) y para zonas costeras GALDIT (Chachadi y Ferreira, 2001).

El procedimiento para la utilización del agua subterránea en situaciones de emergencia consiste en:

- Identificar la resistencia del acuífero con la influencia de las inundaciones.
- Estimar los volúmenes de agua subterránea y calidad del agua subterránea disponible en situaciones de emergencia.
- Evaluar el impacto de la contaminación del subsuelo por la influencia de las inundaciones.
- Elaborar un plan de emergencia conjuntamente con organizaciones ciudadanas y autoridades gubernamentales.

El propósito de esta estrategia es identificar los recursos subterráneos de baja vulnerabilidad, eventos hidrometeorológicos (inundaciones), geológicos (terremotos) y humanos (sitios de contaminación acuífera). El resultado sería la identificación de acuíferos resistentes a impactos naturales y antropogénicos para seleccionar regiones piloto de abastecimiento de agua. El desarrollo de esta estrategia para la seguridad humana es necesario para disminuir la vulnerabilidad de la población amenazada por desastres (UNESCO, 2006).

• *Fuentes alternas de energía*

Una vez identificados los sitios potenciales para la extracción de agua subterránea, se tiene que realizar la perforación de pozos estratégicos para situaciones de emergencia, por lo que se necesita la

infraestructura necesaria para su funcionamiento, que incluye el bombeo. Como una alternativa a los servicios de electricidad (que generalmente se interrumpen en los desastres), se propone la utilización de biocombustibles avanzados, es decir, la generación de electricidad utilizando como materia prima plantas, microorganismos y/o residuos (www.rembio.org.mx).

Servicios estratégicos

Para abordar una situación de emergencia, como son las inundaciones y los terremotos, las autoridades tienen que tomar decisiones lo más pronto posible, ya que, en muchas ocasiones, es cuestión de vida o muerte. Entre ellas, por ejemplo, decidir las áreas que hay que evacuar o asegurar y socorrer en albergues a la población damnificada, y cubrir, además, sus necesidades básicas, es decir, proveerla de agua, alimento y abrigo.

Los manuales y reglamentos de construcción consideran las siguientes construcciones como prioritarias ante un desastre: hospitales, estaciones de bomberos, escuelas, estadios, terminales de transporte, centrales eléctricas y de telecomunicaciones y sus estructuras para la transmisión o distribución, depósitos de sustancias inflamables (depósito de combustible, gasolineras) o tóxicas (plantas de tratamiento), puentes principales y sistemas de abastecimiento de agua potable, entre otros; por su importancia cultural y social, también están en este grupo monumentos, templos y museos con alto valor cultural, edificios que alojen archivos y registros públicos de particular importancia, que pertenecen al Grupo A (NTC-2004 y MDOCFE-2008).

Importancia de los servicios ante una situación de emergencia

- **Hospitales.** En una emergencia según la severidad de la situación del paciente es imposible reubicar a los enfermos; además, existe infraestructura especial, equipo médico y personal capacitado que tiene que permanecer en estos lugares ante un desastre.
- **Bomberos.** Los centros de socorro, como son las estaciones de bomberos, representan un recurso humano invaluable que auxilian a la población. Estas construcciones deben diseñarse adecuadamente para mitigar los efectos de desastres y proteger al personal y al equipo.
- **Albergues.** Se tienen que identificar los sitios que potencialmente pueden funcionar como albergues en situaciones de emergencia, por ejemplo los centros de convenciones, auditorios, teatros, escuelas. Además, se deben proveer servicios adicionales como son tratamiento de aguas y recolección de residuos.
- **Sistemas de agua.** Son importantes las plantas potabilizadoras y los pozos de abastecimiento de agua. Se debe identificar la población que podría verse afectada ante la falla de estos sistemas, así como evaluar las estructuras de tales sistemas para hacerlas más resistentes ante los desastres.
- **Sitios de contaminación.** Las plantas de tratamiento, los basureros municipales y los depósitos de sustancias tóxicas son fuente de contaminación que al interrumpirse por un desastre pueden ocasionar nuevos problemas ambientales y de salud.

- **Vías de comunicación.** Los daños causados en carreteras, puentes, terminales de autobuses y aeropuertos dificultan el transporte y la llegada del material, así como la ayuda humanitaria.
- **Centrales eléctricas y de telecomunicaciones.** Es fundamental contar al menos con un nivel básico de comunicaciones que facilite el trabajo de los equipos de emergencia.
- **Escuelas.** Generalmente son habilitadas como albergues, pues cuentan con los requerimientos mínimos tanto sanitarios como de espacio y cocina.

Para la valoración de los servicios estratégicos se tiene que:

- Identificar la vulnerabilidad de las estructuras de los servicios estratégicos ante inundaciones y terremotos.
- Implementar medidas de prevención para la protección de construcciones estratégicas, como son revisiones de análisis estructural para aumentar la resistencia de estos sistemas ante un desastre.

La vulnerabilidad sísmica se construye, es decir, es una característica que se le da a la estructura para responder ante la acción de un sismo y se describe a través de la causa y el efecto, en este caso el sismo y el daño. Es evidente que para reducir el riesgo sísmico en las construcciones nuevas, el uso de la información científica reciente es obligatorio, pero también existen métodos empíricos y analíticos para calificar la mayor o menor predisposición de las construcciones existentes a sufrir daños, de

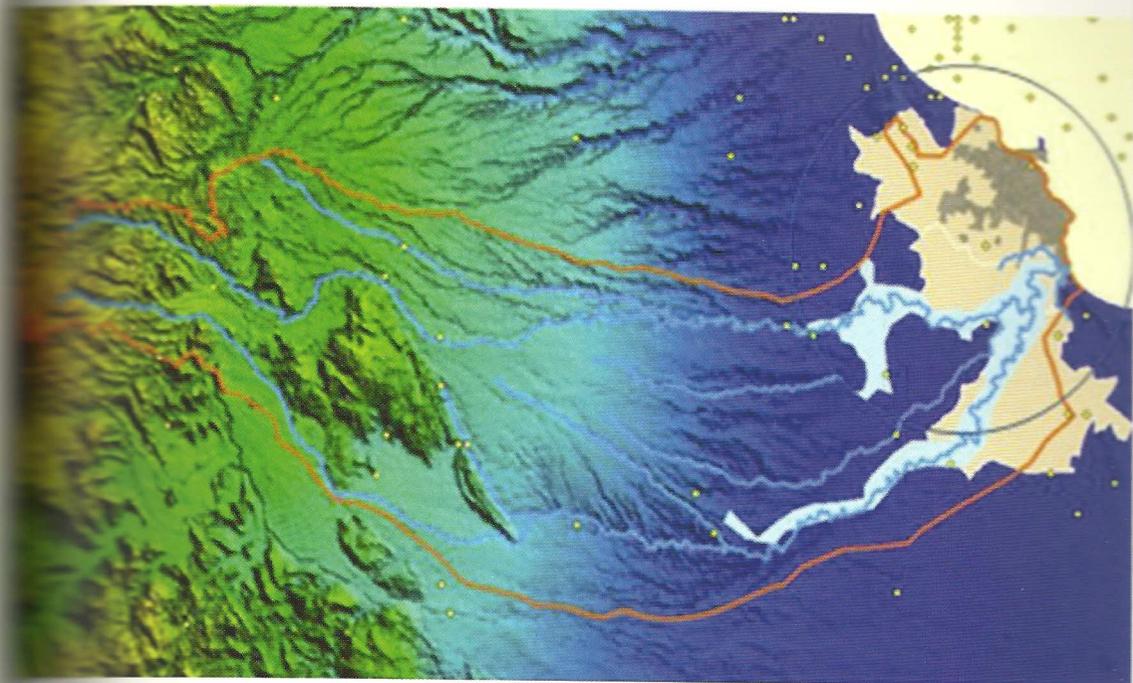
acuerdo al nivel de la acción sísmica, lo que permite tomar medidas preventivas. Representada la acción sísmica por el efecto de sitio se puede estimar de manera sencilla el daño potencial en las construcciones, dependiendo principalmente del número de niveles y el material de construcción, sin perder de vista la estructuración (forma y distribución de elementos resistentes), el peso y la distribución del mismo, entre otros puntos (NTC-2004 y MDOCFE-2008).

Estudio de caso: zona conurbada Veracruz-Boca del Río

Área de estudio

La zona conurbada de Veracruz (ZCV) es el área formada por la ciudad y el Puerto de Veracruz; está integrada por los municipios de Boca del Río, Medellín, Alvarado y Veracruz. La ZCV es muy importante en la región por su actividad turística, portuaria y de crecimiento económico, lo que a su vez redundará en un crecimiento poblacional. Según resultados preliminares del censo, la zona metropolitana cuenta con 801 122 habitantes (INEGI, 2010).

Este crecimiento poblacional aumenta la vulnerabilidad ante fenómenos naturales (las inundaciones y los terremotos). En el mapa 6 se presenta la zona conurbada Veracruz-Boca del Río-Medellín, que pertenece a la subcuenca Jamapa-Cotaxtla, y el acuífero costero de Veracruz, según regionalización de Conagua (www.conagua.gob.mx).



Zonas inundables

La cuenca hidrológica río Jamapa tiene una superficie de aportación de 1 976.1 km², con un volumen disponible de 405.45 mm³, y comprende desde el nacimiento del río hasta la estación hidrométrica El Tejar. La cuenca hidrológica río Cotaxtla tiene una superficie de aportación de 1 708.5 km², con un volumen disponible a la salida de 1 208.56 mm³, y comprende desde el nacimiento del río hasta la estación hidrométrica Paso del Toro (DOF, 2008).

Es importante destacar que los cambios en la parte alta de la cuenca tienen consecuencias aguas abajo. Esto se constató con el huracán *Karl*, cuando un mayor escurrimiento en los ríos de respuesta rápida asociados a zonas de descarga de los acuíferos provocó la inundación de la zona conurbada.

■
Mapa 6
Subcuenca
Jamapa-Cotaxtla
y acuífero costero
que pertenecen a
la zona conurbada
Veracruz-Boca del Río

Fuente:
<http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/datosrelieve/continental/default.aspx>
Conagua, 2010 c)

Durante la contingencia del huracán *Karl*, los comunicados por parte de la Conagua (2010) los días 17 y 18 de septiembre fueron:

17 de septiembre de 2010

El ojo del huracán *Karl* impactó a 15 km al norte del Puerto de Veracruz a las 11:30 h, con categoría tres en la escala Saffir-Simpson, provocando lluvias intensas a torrenciales en la región centro y sur de la entidad. *Karl* se encontraba a 65 km al este del Puerto de Veracruz y avanzaba con dirección oeste a 20 km /h con vientos máximos sostenidos de 190 a 195 km/h y rachas de hasta 270 km/h. Las precipitaciones iniciaron a partir de la noche de ayer en el centro y sur de la entidad con valores de 20 a 50 mm y lluvias puntuales superiores a los 70 o 100 mm. Los modelos de pronóstico indican que estas lluvias tenderían a intensificarse y extenderse. Se recomienda la población asentada en los cauces de los ríos que acuda a los albergues o zonas de refugio para evitar posibles daños generados por las crecientes de los ríos.

18 de septiembre de 2010

A las 5 h de esta mañana, *Karl* se debilitó a Depresión Tropical (DT) y se ubicó a 95 km al sur-sureste de Puebla y se desplaza con una velocidad de 5 km/h hacia el sureste, por lo que continúa el potencial de lluvias moderadas a fuertes sobre el centro y oriente del país. En el estado de Veracruz, los datos de precipitación registrados en las estaciones de los municipios de Misantla fueron de 355 mm; Potrero Nuevo con 270.4 mm; Paso del Macho, 276 mm; Puerto de Veracruz, 252 mm; Actopan, 153 mm; Martínez de la Torre, 143 mm; Nautla, 143 mm; Gutiérrez Zamora, 110 mm y en la Antigua Veracruz, 110 mm. Veracruz fue la entidad más afectada por el incremento de

los ríos Bobos, Blanco y La Antigua que provocaron inundaciones. Este acumulado de precipitaciones provocó que varios ríos y arroyos superaran su escala; en el centro de Veracruz se registró un tirante de hasta un metro y medio de altura, que provocó inundaciones en el centro histórico, el zócalo de la ciudad, el palacio municipal de Veracruz y en la zona conurbada Veracruz-Boca del Río. Se ha exhortado a la población veracruzana a que atienda las indicaciones de Protección Civil, ya que continúan los escurrimientos de las lluvias que se tuvieron en la parte alta de la Cuenca.h

■
Mapa 7
Zona de inundación de la ZCV por efecto del huracán Karl, 2010
Fuente:
Modificado de SAS, 2010



En el mapa 7 se presenta la mancha de inundación provocada por el huracán *Karl* (18 de septiembre de 2010). Esta zona fue caracterizada por el Sistema de Agua y Saneamiento (SAS) (2010). Por otra parte, la Secretaría de Protección Civil del estado de Veracruz, en su página web, presenta las zonas de inundación fluvial (www.atlasriesgosver.gob.mx).

Es evidente que este mapa tiene que mejorarse con una base científica que permita identificar las zonas de inundación para diferentes periodos de retorno y para diferentes fenómenos hidroclimáticos.

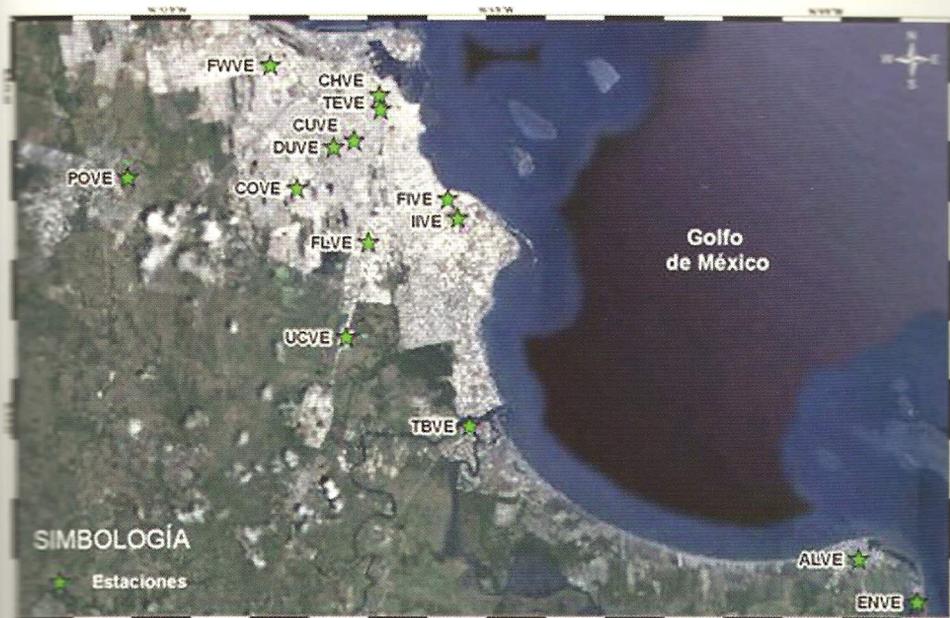
Microzonificación sísmica

Es importante destacar que ante la ausencia en el estado de Veracruz de un reglamento de construcciones moderno, que considere la respuesta dinámica local de los diferentes tipos de terrenos ante un sismo, se presentan en este trabajo los estudios realizados en proyectos de investigación financiados por el Conacyt y el Gobierno del Estado de Veracruz Llave (consultar bibliografía), para la zona conurbada Veracruz-Boca del Río (ZCV), entre otras ciudades.

Metodología

Instrumentación

La instrumentación es una alternativa eficaz para conocer mejor el fenómeno en estudio y, en su caso, recurrir a la modelación para prever futuros escenarios. Es por ello que se han hecho en estos



trabajos esfuerzos importantes para que el estado de Veracruz disponga de redes de monitoreo sísmico. Sin embargo, es difícil garantizar la cobertura de estas redes, su actualización tecnológica e incluso su mantenimiento y permanencia, ya que generalmente se conciben como partes de un proyecto de investigación y no como un instrumento de apoyo fundamental para la acción oportuna y la planeación eficiente del desarrollo urbano. En el mapa 8 se ubican las estaciones temporales y la permanente en la ZCV.

Historia sísmica y delimitación del área

La historia sísmica del estado es de larga periodicidad y revela epicentros cercanos a ciudades importantes con altas concentraciones humanas, por lo que Veracruz se ubica en los primeros tres lugares en pérdida de vidas humanas en México. Para no omitir la presencia de los sismos se elaboró el *Catálogo de Sismos Históricos Preinstrumentales* (1523-1910)

■
Mapa 8
Ubicación de
estaciones de
registro sísmico

Fuente:
Modificado de Riquer
et al., 2003

con los sismos “sentidos” en el estado (950 eventos); para el análisis de la sismicidad reciente del estado se elaboró el *Catálogo de Sismos Instrumentales (1910-2010)*, con más de 3 400 eventos. Con este último se detectó el periodo en que los registros son homogéneos, continuos y confiables (a partir de 1959).

Sólo por mencionar algunos sismos de la época instrumental, destacan por sus efectos: el del 3 de enero de 1920 ($M_s=6.5$), conocido como el temblor de Xalapa; el del 26 de agosto de 1959 ($M_s=7.5$) o temblor de Jáltipan; el del 11 de marzo de 1967 ($M_s=5.6$) o temblor de Veracruz, y el del 28 de agosto de 1973 ($M_s=7.3$) o temblor de Orizaba. Con esta información se evaluó la extensión, ubicación e intensidad de los efectos locales de los sismos.

Para delimitar el área de referencia (ZCV) se analizó el crecimiento histórico de la ciudad recurriendo a planos antiguos y litografías que datan desde el siglo XVIII hasta nuestros días. El área en estudio incluye el casco histórico de la antigua ciudad amurallada, en algún tiempo conocida como “Ciudad de Tablas” por el tipo de construcciones que en ella predominaba. Se localizaron antiguos cauces de ríos y caudales, espejos de agua, zonas de relleno y áreas ganadas al mar, ahora dentro de la mancha urbana, donde, como ya se dijo, el suelo puede presentar características dinámicas especiales. Se analizó también el crecimiento urbano actual y la proyección futura de la ciudad, usando las Cartas de la Dirección General de Ordenamiento Urbano y Regional de la Secretaría de Desarrollo Regional del Gobierno del Estado de Veracruz, y se observó una expansión industrial notoriamente marcada hacia el suroeste, y habitacional y turística hacia el sureste.

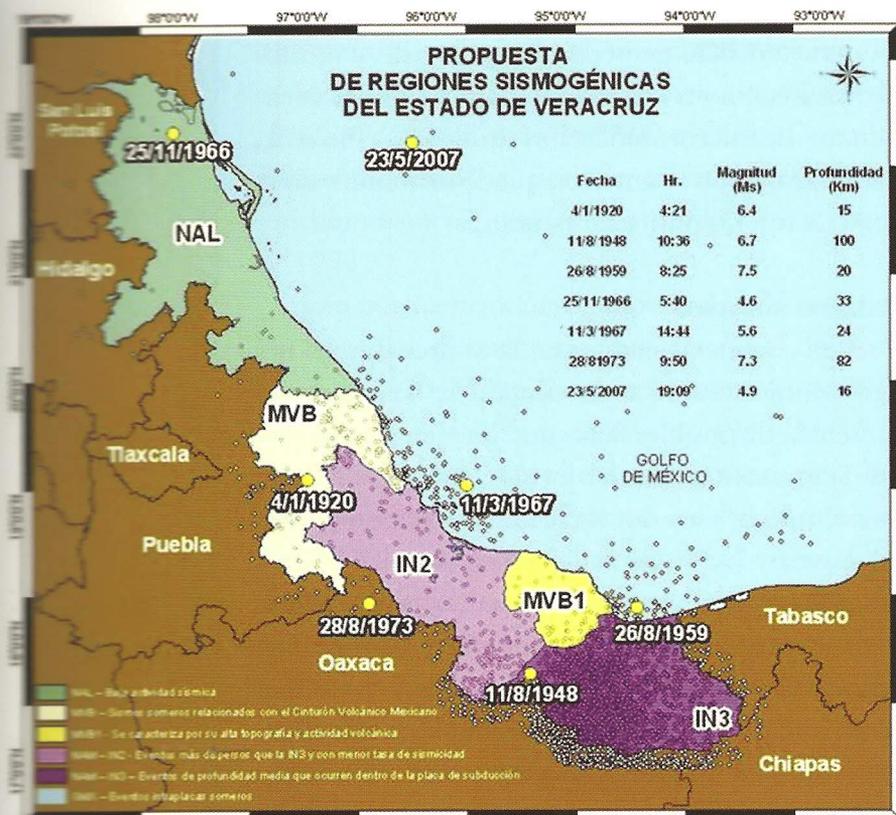
Se consideraron como antecedentes estudios de las características geotécnicas, geológicas y morfológicas hechos en la zona, así como estudios preliminares de microzonificación sísmica (Lermo *et al.*, 1995). Con todo lo anterior, quedó de manifiesto la zona de interés para este estudio.

Peligro sísmico

Pueden cometerse errores en la estimación del peligro sísmico, sobre todo cuando se desconoce la presencia de posibles fallas que pueden ser causantes de grandes temblores locales. Éste es el motivo por el que se necesita determinar dónde ocurren los sismos y la tasa de actividad sísmica entre otras cosas. Estas acciones constituyen los primeros pasos para analizar el origen y sus efectos, para luego estimar el riesgo sísmico, que está relacionado con las pérdidas esperadas. Estos trabajos de investigación incluyen una propuesta de regiones sismotectónicas del estado de Veracruz (Leyva *et al.*, 2009) en el mapa 9, basada en consideraciones como el análisis de los catálogos de sismos, la fisiografía, el análisis de localización hipocentral de eventos de características similares, las características tectónicas comunes de la zona, los mecanismos focales y/o patrones de fallamiento, las características principales de la liberación de energía de los sismos dentro de cada región y la identificación de aquellos cuyas afectaciones fueron más nocivas en cada región para analizarlos especialmente.

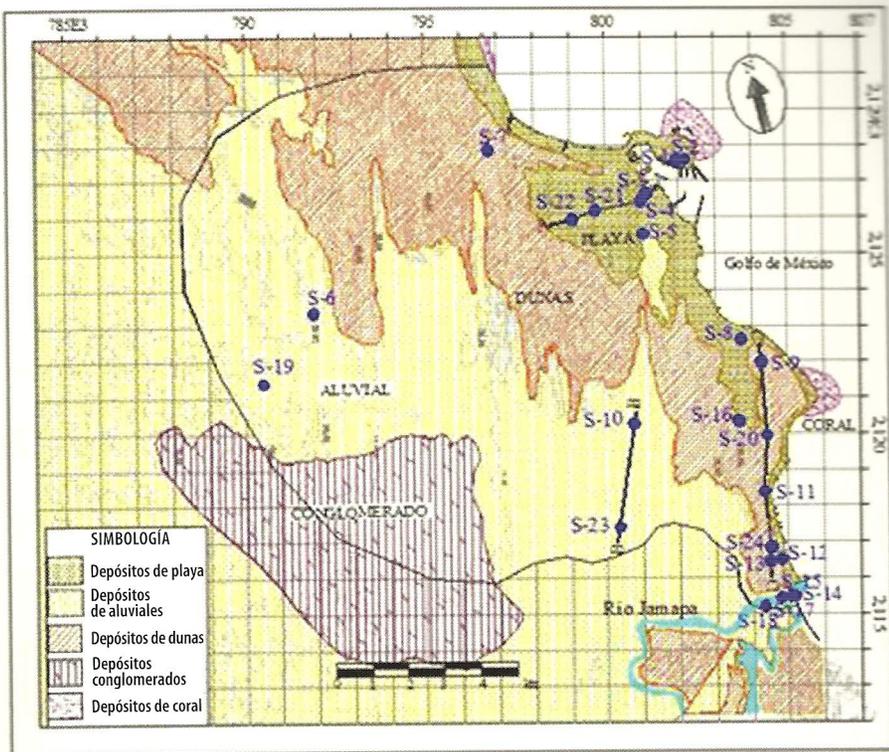
Riesgo sísmico

A pesar de que existen evidencias históricas y científicas de los efectos que los sismos tienen en las construcciones por las condiciones locales del estado, proliferan las construcciones con las



mismas características de riesgo por su ubicación, y de vulnerabilidad por sus características estructurales. Esto ocurre en parte por la ausencia de reglamentos modernos, o por el incumplimiento de los existentes, en los que se consideren condiciones locales. Es práctica común en Veracruz hacer una “adaptación” o una “dudosa” interpretación de manuales o reglamentos de otros estados u omitir arbitrariamente el diseño sísmico, lo que evidentemente repercute en la seguridad de las construcciones. Aquí se presenta el mapa de microzonificación sísmica como uno de los productos obtenidos en los trabajos de investigación realizados para reducir el riesgo sísmico en el estado, aplicado en la zona de referencia (ZCV), que delimita las zonas de riesgo

Mapa 9
Regiones
sismotectónicas del
estado de Veracruz
Fuente:
Modificado de Leyva
et al., 2009
y Riquelme et al., 2010



sísmico. Ésta constituye una herramienta valiosa para la actualización o elaboración de normas de construcción (mapa 10).

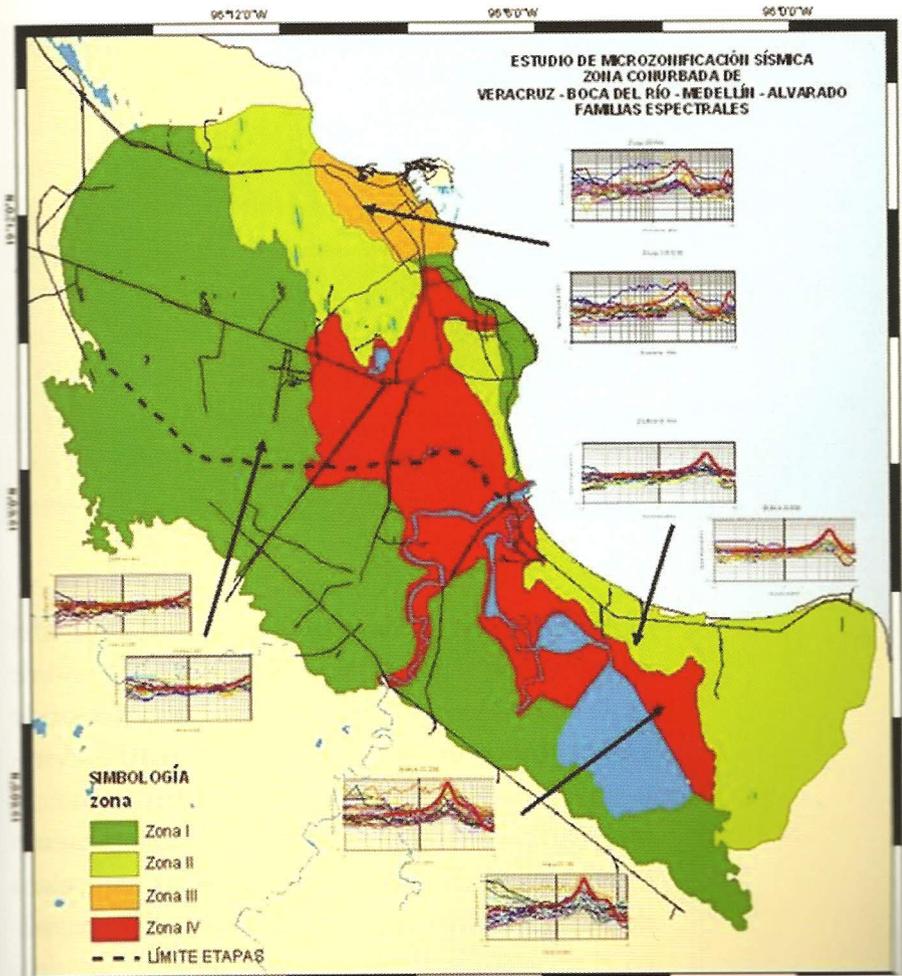
Geología, geotecnia e hidrología

Se analizaron los criterios más usados en los manuales y reglamentos mexicanos (*Manual de Diseño de Obras Civiles de la CFE-2008*; MDOCFE-2008, *Reglamento de Construcciones para el D.F. y sus Normas Técnicas Complementarias 2004*: NTC-2004), estadounidenses (*The International Building Code de US*: IBC-2000) y europeos (Eurocode 8-2004), los cuales reconocen que para conocer el efecto de sitio de los suelos, los parámetros más importantes son: el periodo dominante del suelo y las velocidades de onda de cortante. Como antecedentes se conocen los trabajos de Esquivel y otros (1976) y Páez

■
Mapa 10
 Zonificación
 geológico-geotécnica
 de la ZCV.
 Ubicación de sondeos
 geotécnicos (S) y cortes
 estratigráficos (A, B, C)
 Fuente:
 Williams et al., 2007

periodos de cada sitio (funciones de transferencias empíricas, FTE), pero la amplificación del movimiento fue validado con el registro de sismos en diferentes sitios de la ZCV (técnica estándar), usando una estación de referencia (POVE). Se han realizado más de 300 puntos de registro de vibración ambiental con acelerógrafos GSR-18 y ETNA (Williams *et al.*, 2003, Riquer *et al.*, 2003). Para cada punto se obtuvo la función de transferencia empírica promedio (FTEP) en las direcciones NS y la EW. Las FTEP se agruparon de acuerdo con su comportamiento dinámico, observando poca

■
Mapa 12
Familias de formas
espectrales
 Fuente:
 Williams *et al.*, 2010



relación con su clasificación geológica. Se delimitaron así cuatro zonas de familias de formas espectrales (FFE), mostradas en el mapa 12.

CUADRO 6

Datos para obtener el espectro de diseño sísmico

Zona	Período Ts (seg)	Amplificación relativa	MEU			
			Estrato Núm.	Espesor (m)	Velocidad (m/seg)	Peso volumétrico (ton/m ³)
I	< 0.125	1	1	7.0	278	1.6
II	0.22 - 0.29	2 - 3	1	3.0	162	1.4
			2	1.5	250	1.5
			3	4.5	150	1.4
			4	3.0	580	1.7
III	0.33 - 0.40	3 - 4	1	4.0	166	1.4
			2	3.0	444	1.6
			3	8.5	150	1.4
			4	6.0	636	1.7
IV	0.40 - 0.67	4 - 8	1	3.0	145	1.4
			2	2.0	357	1.6
			3	6.0	147	1.4
			4	5.0	380	1.6
			5	6.0	200	1.5

En cada una de estas zonas se hicieron pruebas de refracción sísmica para obtener la velocidad de onda SH de los estratos, obteniendo el espesor de los mismos con el cambio de resistencia (N) observado en los perfiles estratigráficos de la zona. El amortiguamiento crítico se estableció de acuerdo a Avilés y Trueba (1991) con base en la naturaleza del suelo. Finalmente, con esta información se aplicó el método de Haskell para obtener un modelo

estratigráfico unidimensional (MEU) de cada zona (Williams *et al.*, 2007 y 2010). Con estos modelos se está en posición de estimar los espectros para el diseño de las construcciones sismorresistentes de acuerdo al sitio de ubicación de la construcción (cuadro 6).

Mitigación del riesgo sísmico en las construcciones

La aplicación de las herramientas mencionadas contribuye a la mitigación de los efectos de los sismos en las construcciones. Para las nuevas construcciones se recomienda evitar que el periodo fundamental de la estructura (T_e) coincida con el periodo dominante del suelo (T_s), incluso se propone un rango para la relación $0.7 \leq T_e/T_s \leq 1.2$, procurando ubicar la estructura fuera de este rango (Bazán y Meli, 2000) para evitar que la estructura entre en resonancia con el suelo en caso de sismo. La resonancia hace que las deformaciones de las construcciones se amplifiquen en lugar de disiparse. Una manera burda pero popular de obtener el periodo dominante de la estructura (T_e) en segundos, es estimarlo como una décima del número de pisos n , $T_e = 0.1n$.

Vulnerabilidad sísmica

Siguiendo este criterio simplificado de suponer que las estructuras son más vulnerables conforme tienen un periodo de vibración más cercano al del suelo, se pueden relacionar los periodos T_s de cada zona del mapa de familia de formas espectrales mostradas en el mapa 12, con el tipo de construcciones existentes del Grupo A, ubicadas en las diferentes zonas, y así tipificar aquellas que representen un mayor potencial de daño (cuadro 7).

CUADRO 7

Edificios vulnerables de la ZCV

Zona	Núm. de niveles
I	1
II	2-3
II	3-4
IV	4-7

Las estructuras históricas se consideran siempre de mediana vulnerabilidad, aun alejadas del periodo fundamental del suelo, por no tener en su mayoría muros confinados (dallas y castillos), lo que no favorece su comportamiento ante sismos.

Así, por ejemplo, los edificios de 3 a 4 niveles, ubicados en la zona III (Centro Histórico), serían los más vulnerables ante un sismo (Torres, 2005).

Hidrogeología

Para aprovechar el agua subterránea almacenada en los acuíferos durante las situaciones de emergencia, es necesario un análisis de las características del subsuelo. Es importante organizar la información disponible y los nuevos datos en un SIG. En el cuadro 8 se presentan las capas temáticas necesarias para el entendimiento conceptual de un sistema acuífero con información disponible.

CUADRO 8**Capas temáticas para la caracterización del sistema acuífero**

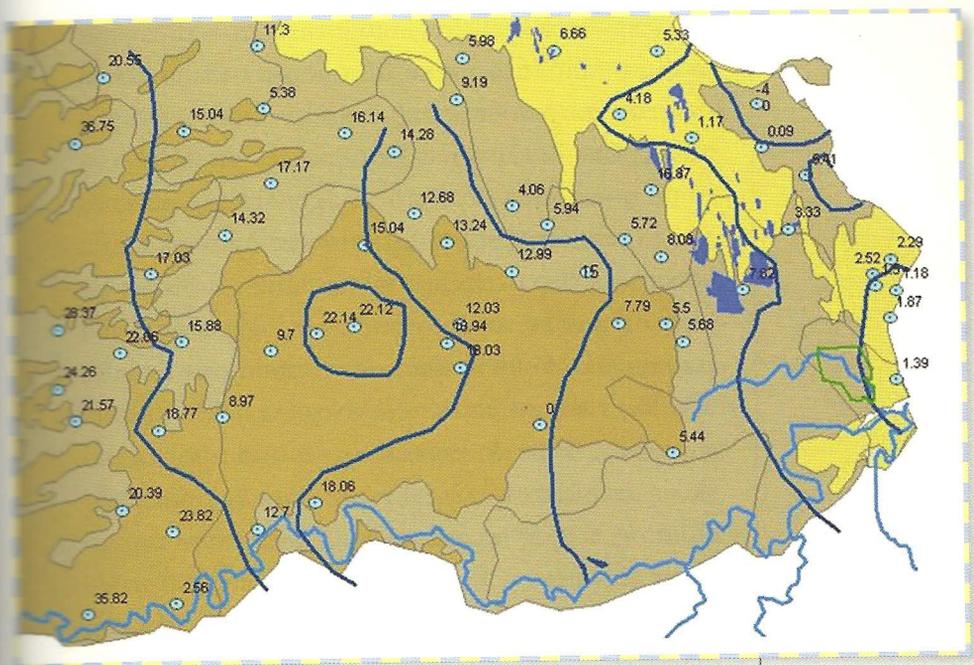
Núm. de Capa	Nombre	Tipo	Fuente
a) Mapa base			
1	Límite acuífero	Polígono	Conagua
2	Municipios-colonias	Polígono	Observatorio Urbano UV
3	Poblados	Punto	INEGI (2005)
4	Vías de comunicación	Línea	INEGI
b) Caracterización superficial			
5	Geología	Polígono	INEGI
6	Edafología	Polígono	INEGI
7	Uso del suelo	Polígono	INEGI
8	Topografía	Línea	INEGI
9	Ríos	Línea	INEGI
10	Cuerpos de agua	Polígono	INEGI
c) Caracterización del subsuelo			
11	Cortes litológicos de pozos profundos	Punto	Pemex
12	Cortes litológicos de pozos someros	Punto	SAS
13	Geofísico	Punto	Conagua
d) Caracterización hidrogeológica			
14	Unidades hidrogeológicas	Polígono	IIUV
15	Red piezométrica	Punto	Conagua
16	Pozos REPDA	Punto	Conagua
17	Pruebas de bombeo	Punto	ND
18	Curvas de igual elevación del nivel estático	Línea	IIUV-Conagua
e) Caracterización geoquímica			
19	Puntos de muestreo	Punto	Conagua

Para una interpretación hidrogeológica, considerando la geología, edafología, uso de suelo, hidrografía y la topografía, se identifican las unidades hidrogeológicas. Éstas se entienden como aquellas unidades favorables para el almacenamiento y transmisión de agua subterránea. Una

parte importante para el conocimiento de los sistemas acuíferos es la instrumentación a través de redes piezométricas, es decir, pozos seleccionados para la medición de niveles freáticos. Con base en estos datos es posible definir las direcciones preferenciales de flujo subterráneo.

En el mapa 13 se presentan las unidades hidrogeológicas y la red de flujo. Se observa que las unidades de color café, hacia el centro-oeste de la zona de estudio, están constituidas de materiales de tipo conglomerado con textura media, lo que les da una característica de permeabilidad alta; los materiales aluviales en la región centro tienen textura media, lo que les da una característica de permeabilidad media-alta, y los materiales eólicos hacia la franja costera tienen clase textural media por lo que también son de buena permeabilidad. La configuración de elevación del nivel freático indica un alto hidrogeológico (representado con un círculo), y va del oeste hacia las lagunas interdunarias y hacia la zona de Arroyo Moreno, ambas consideradas como zonas protegidas. Es decir, el alto hidrogeológico se considera como zona de recarga y los cuerpos de agua superficiales también pueden funcionar como zonas de descarga. Es de especial interés la zona centro-portuaria, donde existe un abatimiento de -4 m, lo que indica un peligro de intrusión salina.

Las lagunas interdunarias aquí mencionadas son 18 cuerpos someros de agua dulce, singulares desde el punto de vista geomorfológico, y que se establecen debido al afloramiento del manto freático y las lluvias que lo recargan (Universo, 2005). Por otra parte Arroyo Moreno es un área natural sujeta a conservación ecológica, con el objetivo de preservar la biodiversidad que guarda el área



y representa una barrera natural de contención y protección contra el efecto de marejadas, ciclones, huracanes y tormentas tropicales (CGMA, 2008).

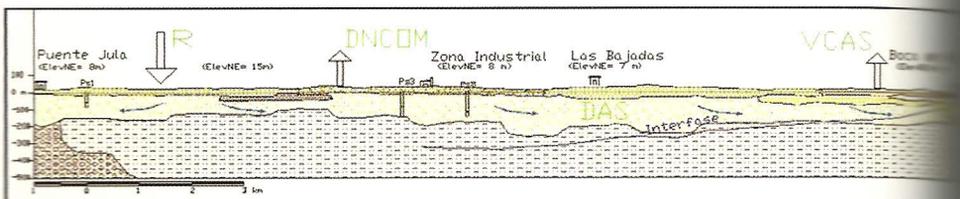
Para el conocimiento de las características del subsuelo se hace uso de los métodos geofísicos y, según la profundidad de investigación, es necesario seleccionar el método adecuado. En hidrogeología los más utilizados son los métodos eléctricos y/o electromagnéticos. Para los primeros es común la utilización de Sondeos Eléctricos Verticales (SEVs), que es una técnica de prospección geofísica que utiliza una corriente eléctrica para determinar zonas de resistividad del subsuelo, las que a su vez están asociadas con las unidades geológicas. Para una mejor interpretación de los métodos geofísicos se utilizan cortes litológicos de pozos. Los resultados de una interpretación geofísico-geológica y de la red de flujo se presentan como secciones hidrogeológicas (gráfica 3).

■
Mapa 13
Hidrogeología de la
zona de estudio

Fuente:
 Neri, datos no publicados

Una sección hidrogeológica es la representación esquemática de cómo opera el sistema y la determinación de este modelo hidrogeológico conceptual es el primer paso para el entendimiento de un sistema acuífero. En general, se observa que el acuífero está constituido primero por una capa superficial de aproximadamente 30 m de espesor que se asocia con la litología superficial y que está conformada por sedimentos aluviales (Qal) y material clástico (Qarcg), seguida de una capa de 170 m de espesor constituida por materiales granulares, la cual representa la capa principal de la que se extrae agua subterránea para diferentes usos y, finalmente, hacia los 200 m de profundidad, se tiene una capa que se asocia con materiales arcillo-arenosos. Se presentan elevaciones del nivel estático de 8 a 15 m por Puente Jula que disminuyen hacia la costa, con valores entre 0 y 2 m en Boca del Río, por lo que el agua subterránea posee una superficie libre sujeta a la presión atmosférica. Por lo anterior, el acuífero se considera como tipo libre, aunque pueden presentarse acuíferos colgados debido a la presencia de estratos impermeables (Neri, 2007). La mayor extracción del agua subterránea se realiza en la planicie costera de Veracruz y es donde se concentran los pozos concesionados para extracción de aguas subterráneas, según el REPDA (Registro Público de Derechos de Agua). Para determinar si es posible explotar nuevos pozos, es necesario

Gráfica 3
Sección hidrogeológica



conocer la disponibilidad del agua subterránea (DAS), que para este acuífero es de $162.54 \text{ mm}^3/\text{a}$, la cual se basó en un balance hidrogeológico según la NOM-011-CONAGUA-2000 (DOF, 2009) (gráfica 3).

Estas condiciones reflejan que el acuífero tiene en general buena permeabilidad y capacidad de almacenar y transmitir agua, sin embargo, al ser de tipo libre, también es vulnerable a contaminación por descargas contaminantes superficiales, y al estar en una zona costera, corre el peligro de intrusión salina (zona centro-portuaria) si no se toman las medidas adecuadas en el manejo de la extracción del agua subterránea.

Cabe mencionar que la interpretación del subsuelo del acuífero se realizó con datos disponibles según estudios realizados en los años ochenta (SARH, 1980) y con datos de la red piezométrica proporcionados por la Gerencia Técnica Golfo Centro de la Conagua (2010), por lo que es importante continuar la investigación para una mejor caracterización de estos sistemas.

Selección de fuentes de abastecimiento y albergues temporales

La previsión de los mapas de riesgo como son la microzonificación sísmica y por inundaciones nos puede dar señales y alertarnos sobre los principales puntos problemáticos. Para que esta información sea provechosa se tiene que dar de manera coordinada entre expertos y quienes toman las decisiones. Esto también implica un mecanismo idóneo para proporcionar a tiempo una evaluación precisa de los riesgos, los escenarios probables y las respuestas

de emergencia posibles a quienes toman decisiones (Comisión Europea, 2004). La utilización de los SIG es una herramienta auxiliar para la toma de decisiones.

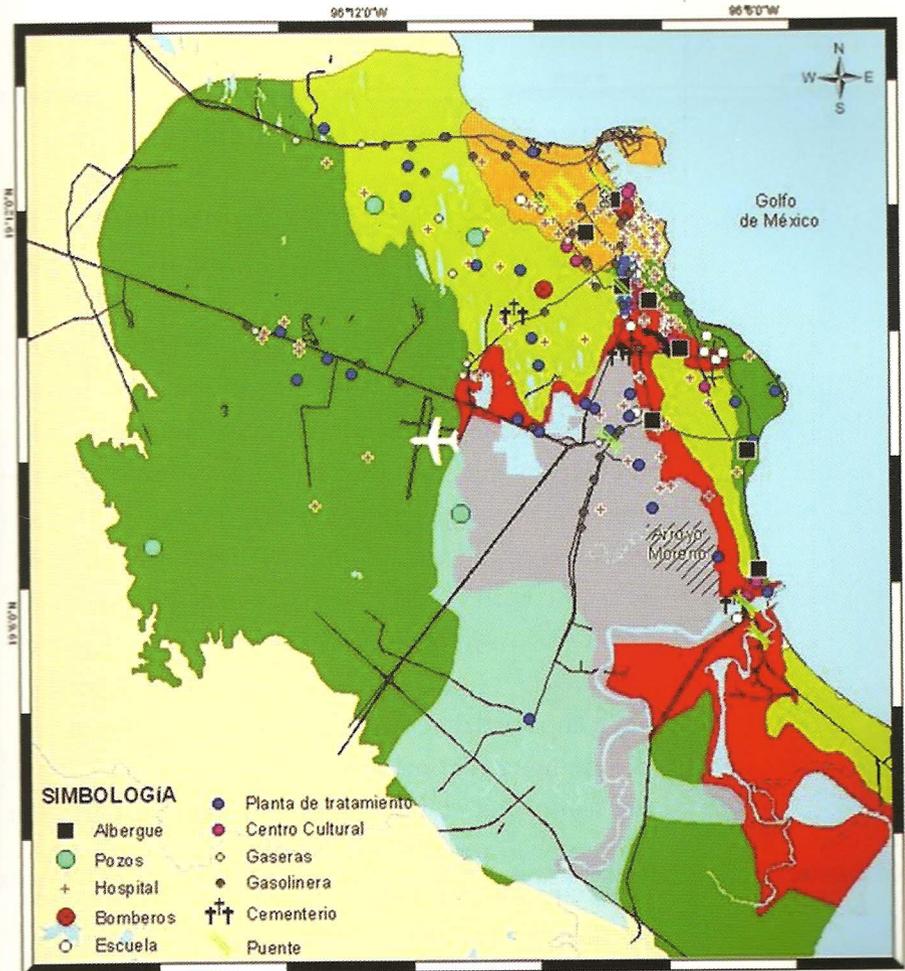
Tipificación de servicios estratégicos ante inundaciones y terremotos

En el mapa 14 se presentan las zonas de microzonificación sísmica, la zona de inundación por el huracán *Karl* y los servicios estratégicos de la ZCV. Para la selección de estos servicios se consideraron los sitios que funcionaron como albergues durante la contingencia por el huracán *Karl*; los pozos para abastecimiento público-urbano, los hospitales y clínicas, las centrales de bomberos, las principales escuelas públicas; los puentes, y los centros culturales, además de sitios que pudieran ser fuentes de contaminación, como gaseras, gasolineras, cementerios y plantas de tratamiento.

El análisis integrado de las zonas inundables y las zonas de vulnerabilidad sísmica permite identificar que la zona de inundación coincide con la de mayor amplificación del movimiento sísmico. Las zonas que aparecen con tonalidades de verde son las menos vulnerables a eventos sísmicos, sin embargo la región suroeste de Arroyo Moreno fue afectada por inundaciones. Cabe destacar que el cambio de uso de suelo puede variar las condiciones de zonas inundables, al cambiar la topografía, es decir, si se construye un fraccionamiento en una zona inundable con un relleno considerable, cambia la topografía y se pueden generar nuevas zonas de inundación.

La zona que aparece en color naranja, donde se localiza el centro histórico, se inunda por precipitaciones intensas y es potencialmente vulnerable a sismos por el tipo de construcciones que ahí existen, antiguas y con una alturas de 3 a 5 niveles. Las fuentes de contaminación deben ser evaluadas, para disminuir riesgos en la salud ante situaciones de desastre. En particular, es importante identificar si es favorable construir pequeñas plantas de tratamiento en zonas inundables, o si es mejor un sistema de saneamiento ubicado en una

■
Mapa 14
 Microzonificación
 sísmica, zona
 de inundación por el
 huracán *Karl* y servicios
 estratégicos de la ZCV
 Fuente:
 Modificado de Williams
et al., 2010



zona estratégica que soporte los caudales de estas pequeñas plantas. Estas cuestiones aún necesitan ser analizadas como una estrategia para mitigar efectos colaterales.

Los principales albergues que funcionaron durante la contingencia de *Karl* fueron: el DIF Boca del Río, el WTC, el Club de Leones, el Auditorio Benito Juárez, el Instituto Veracruzano del Deporte, la Zona Militar, Caritas y el DIF Veracruz. Es recomendable que aunque estas construcciones no estén dentro del Grupo A (NTC-2004 y el MDO-CFE-2008) cumplan con la normatividad vigente y que sean reforzadas.

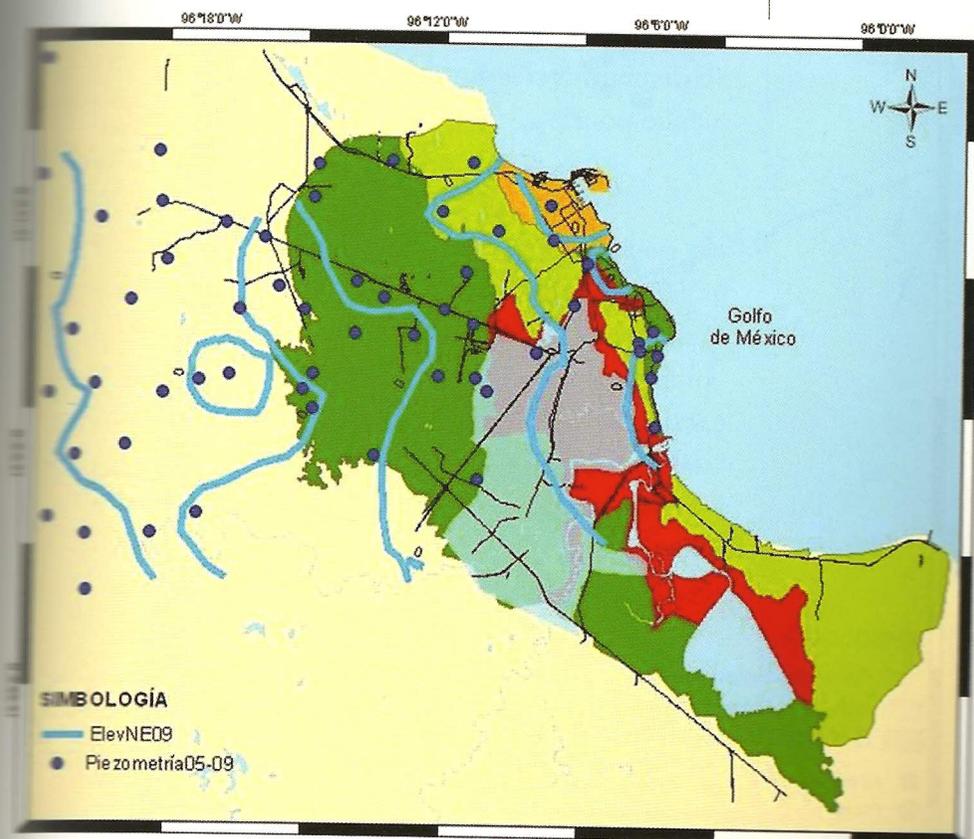
Hidrogeología y zonas de peligro

En el mapa 15 se presenta la microzonificación sísmica, la zona de inundación y las curvas de igual elevación del nivel freático.

Este análisis permite constatar que eventos perturbadores como las inundaciones tienen una correspondencia con la respuesta dinámica de los suelos ante efectos sísmicos. Los estudios de microzonificación sísmica evidencian que los efectos de sitio se amplifican donde hay depósitos aluviales y/o niveles freáticos someros, zonas que coinciden con las de inundación. Ante un terremoto puede ocurrir el fenómeno de licuación, que es la pérdida de la capacidad de carga de suelos arenosos saturados de agua, debido a la vibración producida por un sismo; los edificios sobre estos suelos pueden presentar grandes hundimientos y, en casos extremos, colapso por volteo. Finalmente, en ocasiones se presentan fallas geológicas superficiales que, además de llegar a producir excitación sísmica en

mayor o menor grado, dejan como consecuencia desplazamientos permanentes del terreno, en sentido horizontal y/o vertical, que llegan a producir graves daños a las construcciones ubicadas sobre las fallas.

Otro fenómeno relacionado con el manejo del agua subterránea es la explotación intensiva de los acuíferos. Es conocido que ésta puede ocasionar efectos perjudiciales como abatimiento de niveles, desaparición de lagos y manantiales, e intrusión salina en zonas costeras. Estos cambios en los niveles freáticos también se asocian con hundimientos o daños en las estructuras.

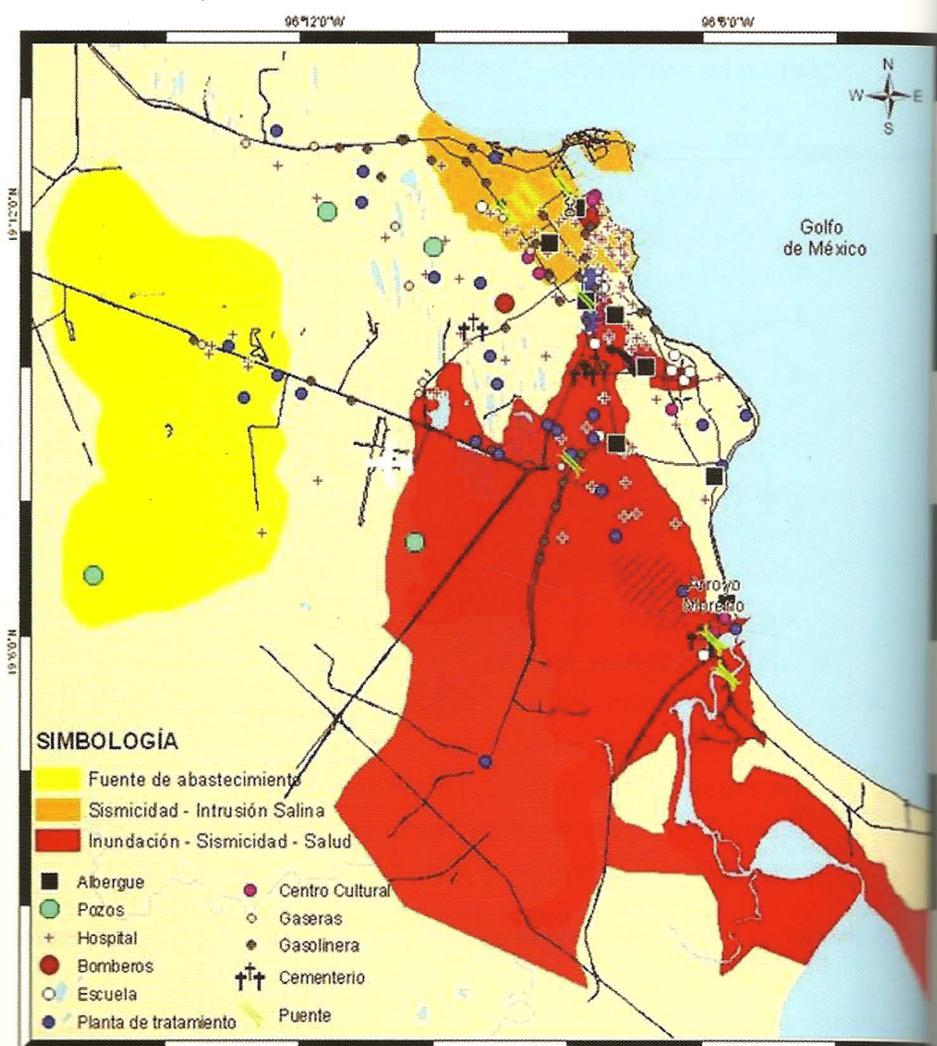


Zonas de alerta

En el mapa 16 se presenta la zona potencial como fuente de suministro de agua ante una emergencia y las zonas de alerta, donde se tienen que realizar acciones para aumentar la resistencia de los sistemas ante un desastre.

■
Mapa 16
Zonas de alerta
en la zona conurbada

- **Zona naranja.** En esta zona se ubican edificaciones importantes como son hospitales,



estaciones de bomberos, centros culturales y edificios de relevancia histórica, como el registro civil, el ayuntamiento y monumentos. Estas estructuras deben ser consideradas como del Grupo A, que no cumplen con la normatividad vigente y que se requiere evaluar su vulnerabilidad. Por ejemplo, en caso de un evento sísmico, las unidades de protección civil deberían saber en dónde es más probable que se presenten problemas.

De especial interés es el abatimiento negativo del nivel freático que se presenta en la zona centroportuaria. De no hacerse un manejo adecuado de las extracciones, existe el peligro de intrusión salina, con la consecuencia de la degradación de la calidad del agua en pozos de abastecimiento de la ciudad y la disminución de la disponibilidad del agua.

- **Zona roja.** Es la de mayor amplificación sísmica. Fue zona de inundación por el huracán *Karl*. En ella existe una gran cantidad de plantas de tratamiento de aguas residuales municipales, por lo que representa una amenaza ante la salud de los habitantes. Es decir, en el peor escenario los habitantes de esta zona podrían tener daños en sus viviendas o en su persona por eventos sísmicos; sufrirían inundación de aguas residuales.
- **Zona amarilla.** Es donde se propone un estudio más detallado para la valoración de los pozos estratégicos para la obtención de agua del subsuelo ante una emergencia. Cabe mencionar que la investigación del agua subterránea como fuente de abastecimiento de agua en la

zona conurbada no ha sido desarrollada, por lo que representa una estrategia para mitigar la escasez de agua en desastres.

Esta zona presenta características favorables al ser un acuífero resistente a terremotos y que no ha sufrido inundaciones, sin embargo falta evaluar el impacto de contaminación que pudiera presentarse, así como los volúmenes disponibles de agua subterránea, su calidad y su capacidad para satisfacer la demanda de agua ante una emergencia. Para evitar la explotación intensiva del acuífero, estos pozos sólo se utilizarán durante los desastres.

Conclusiones

Los desastres ponen en peligro la vida y aumentan la incertidumbre de las familias afectadas, inhiben los recursos invertidos y las oportunidades de desarrollo de la sociedad.

En el diseño de planes de emergencia resulta básica la elaboración de mapas y zonificación del riesgo. Estos mapas deben ser especializados con base científico-técnica.

El trabajo interdisciplinario, en el que se utilicen herramientas como los SIG, es indispensable para comunicar el conocimiento y conseguir que éste sea la base para la toma de decisiones.

A pesar de la evidencia histórica y científica del efecto de los sismos en las construcciones por las condiciones locales del estado, éstas no han superado la influencia de otros intereses en la toma de decisiones para el desarrollo urbano.

Existe ausencia o falta de cumplimiento de reglamentos modernos, en los que se consideren condiciones locales.

Durante situaciones de emergencia el abastecimiento inmediato del agua potable es prioritario.

En México no se tiene la infraestructura necesaria para la instrumentación de planes de suministro de agua en situaciones de emergencia.

Este trabajo contribuye a la elaboración de planes de contingencia y de crecimiento urbano cada vez más eficientes.

Invertir en mitigación es más fiable que la reconstrucción.