

Prevención: tecnología y políticas

ZONAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA Y ALBERGUES TEMPORALES EN INUNDACIONES Y TERREMOTOS

***Iris Neri Flores¹, Guadalupe Riquer Trujillo¹, Francisco Williams Linera¹,
Regino Leyva Soberanis¹, Ma. Estela Montes Carmona¹,
Roberto Rivera Baizabal¹, Javier Lermo Samaniego²***

RESUMEN

Las inundaciones y los terremotos son los fenómenos naturales que ocasionan mayores desastres humanos y económicos, casi siempre vinculados al desarrollo de la civilización, sobre todo cuando se omiten las medidas de prevención necesarias para un desarrollo sustentable y se expone a la población a mayores riesgos. La población vulnerable aumenta paralelamente al acelerado desarrollo urbano, donde se modifican ecosistemas locales y se expone a eventos cada vez más frecuentes y de mayor impacto, para los que habitualmente no hay suficientes recursos para remediar. Como consecuencia lógica de esta vulnerabilidad, se tienen que hacer movimientos masivos de la población afectada a refugios seguros de emergencia, ya sea antes, durante o después de un evento, lo que representa nuevos retos, entre ellos el suministro de agua potable a la población, desplazada o no. Paradójicamente, en las inundaciones y los terremotos, el agua potable se convierte en un bien primordial y escaso pero estratégico para la salud pública y para mitigar efectos colaterales. El objetivo de este trabajo plantea identificar zonas menos vulnerables a las inundaciones y terremotos para seleccionar sitios de abastecimiento de agua y tipificar construcciones de servicios estratégicos como son albergues, hospitales, centrales de bomberos y plantas de tratamiento. La metodología consiste en el análisis de las condiciones hidrogeológicas y el análisis del riesgo sísmico mediante la elaboración y uso de mapas de microzonificación utilizando aplicaciones de SIG en la zona conurbada Veracruz-Boca del Río. Los resultados contribuyen a la elaboración de planes de contingencia y crecimiento urbano cada vez más eficientes.

¹ Instituto de Ingeniería, Universidad Veracruzana, Av. S. S. Juan Pablo II, s/n, Campus Mocambo, Fracc.Costa Verde, C.P. 94294, Boca del Río, Ver., México, Tel. (52-229) 7752000 ext. 22214, 22215, 22216, irisneri@gmail.com,

² Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, Torre de Ingeniería, 2do. Piso, Cd. Universitaria, Coyoacán, C.P. 04510, México, D.F., Tel. (52-55) 56233500 ext.1264, jles@pumas.iingen.unam.mx

ABSTRACT

Floods and earthquakes are natural phenomena that cause major human and economic disasters, almost always linked to the development of civilization, especially when you omit the necessary preventive measures for sustainable development and the population is exposed to greater risks. Vulnerable population increases with the rapid urban development, which alter local ecosystems and is exposed to events becoming more frequent and of greater impact for those who usually are not enough resources to remedy. As a logical consequence of this vulnerability, you have to do mass movements of the affected population to safe emergency shelter, either before, during or after an event, which brings new challenges, including potable water supply to the population, displaced or not. Paradoxically, in the floods and earthquakes, the water becomes a good essential and scarce, but strategic for public health and to mitigate side effects. The purpose of this paper is to identify areas less vulnerable to floods and earthquakes to select areas for supply water and classifies buildings as potential shelters, hospitals, fire stations and water treatment plants. The methodology consists in the analysis in the hidrogeological conditions and the analysis the seismic risk through the elaboration and use of microzoning maps with applications of Geographic Information Systems (GIS) in the metropolitan area Veracruz-Boca del Rio. The result contributes to the development of contingency plans and urban growth increasingly efficient.

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 lo produce. Se distinguen así los riesgos de origen geológico, hidrometeorológico, químico, sanitario y socio-organizativo.

Se dispone de un conocimiento general y cualitativo en el territorio nacional, de la gran variedad de fenómenos que pueden causar desastres. En el país destacan fenómenos como los hidrometeorológicos por su frecuencia y carácter recurrente, por ser una región intertropical, situación que lo hace sujeto a los embates de huracanes, que originan 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). Alcanza a tomar meses o años organizar un reemplazo de los suministros de agua potable. Acciones como transportar agua en tanques o embotellada a las poblaciones afectadas para prevenir epidemias, toma tiempo realizarlas, son costosas y temporales. 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, reemplazando 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, para 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, sin embargo la reducción del riesgo mediante la prevención sigue siendo un tema comprendido y tratado solo a niveles técnicos y en foros académicos, lo que dificulta justificar los beneficios 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 sin embargo son más fácilmente predecibles aunque son un tipo más frecuentes de desastres, y son básicamente resultado de excesiva precipitación en ciertas estaciones y regiones, que se agrava por el cambio de uso de suelo y establecimiento de poblaciones cercanas a cauces de ríos (Salas, 2007; Gutiérrez, 2008)

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

Fase1: 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.

Fase2: 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, natural o antropogénico, externo que alcanza proporciones extraordinarias, y de 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 cierta intensidad, tal 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 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 los tres factores, que se obtiene como:

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

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 Estado 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) murieron ahogadas por grandes avalanchas de lodo que se generaron por las vibraciones en terrenos inestables de algunas laderas adyacentes al cauce del río Huitzilapan; el resto murieron bajo los escombros de las construcciones (Suárez, 1991).

ABASTECIMIENTO DE AGUA

Inundaciones: En el caso de desastres, son prioritarias para el abastecimiento de agua 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 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 solo cargan grandes volúmenes de agua, sino también altas cargas de sedimentos. Si los basureros, almacenes industriales y plantas de tratamiento por ejemplo, son inundados, 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 suministro y sanitarios de agua. En 1995 el terremoto de Kobe (Japón), resultó en grandes incendios fuera de control, la ocurrencia de deslizamiento en pendientes, y fenómenos de licuación. En Haití el 12 de Enero de 2010, sufrió uno de los terremotos más devastadores para el país, con un brote de cólera, que a un año del terremoto sigue cobrando víctimas (http://www.who.int/csr/don/2010_10_28/es/index.html).

ESTRUCTURAS RESISTENTES ANTE DESASTRES

Construcciones resistentes, contribuyen a la mitigación de los efectos de los sismos y/o inundaciones, por lo que no solo son necesarias acciones inmediatas en las construcciones nuevas, sino también en las existentes, principalmente en aquellas que signifiquen un impacto potencial mayor al quedar fuera de servicio en el caso de un desastre (Manual de Diseño de Obras Civiles de la CFE-2008: MDOCFE-2008, el Reglamento de Construcciones para el DF y sus Normas Técnicas Complementarias 2004: NTC-2004). Si se logran reducir los efectos directos o indirectos en estas construcciones para fenómenos como los sismos, prácticamente se está reduciendo también el riesgo que pueden causar otros fenómenos como las inundaciones o los huracanes. Solo hay que recordar que casi siempre las pérdidas de vidas humanas están relacionadas 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 alberges. En la figura 1, se presenta esquemáticamente la propuesta, organizando 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 acuíferos. También se identifican los servicios estratégicos que pudieran resultar dañados ante una emergencia, y se señalan los sitios que pueden funcionar como albergues.



Figura 1. Propuesta metodológica

MICROZONIFICACIÓN POR INUNDACIONES

Uno de los fenómenos naturales que ha afectado de manera considerable a nuestro país son las inundaciones. En particular las cuencas de Veracruz por su configuración topográfica y múltiples ríos tributarios históricamente han sido propensas a las inundaciones como consecuencia de las crecientes del río. Son notables las inundaciones en 1999 y 2005, que ocurrieron en los primeros días de octubre, cuando la temporada de lluvias estaba concluyendo, los cuerpos de agua a su mayor capacidad, y el suelo saturado de humedad al grado de que la lluvia no pudo ser absorbida más por el terreno. 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 doce mil viviendas en 1999, y el huracán Stan afectó 135 mil casas en el 2005. Los albergues cobijaron a 18 mil personas en 1999 y a 200 mil en 2005. Veinte tramos carreteros y puentes fueron fracturados en 1999 y 170 en 2005. Es decir, la relación de daños es de uno a diez. Los municipios afectados en 1999 fueron 83 y el 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 arrojan mayor cantidad de agua que un huracán Para reducir estos efectos es necesario un manejo integral de cuenca, implementar acciones de reforestación, y crear pequeñas obras de retención de agua y suelo en zonas altas. (Cruz, Tobón; 2008). En la figura 2 se presentan las inundaciones que han afectado a las Cuenca Golfo Centro del Estado de Veracruz.



Figura 2. Inundaciones que han afectado a la cuenca Golfo Centro de Veracruz (CONAGUA, 2009).

En general para la identificación de zonas inundables es necesario determinar las áreas o regiones vulnerables, evaluación de la frecuencia y magnitud de las inundaciones en base a datos históricos; estimación del número y distribución de la población y análisis de impacto. La metodología para la evaluación de las zonas inundables, como lo indica la elaboración de Atlas de Peligros Municipales en su mayor nivel de especialización (SEDESOL, 2007), consiste en el siguiente procedimiento:

- Cartografía general de inundaciones históricas: se realiza 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 y a consecuencia de éste. Escala de información de al menos 1:50000.
- 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).
- Se realiza 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).
- 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 períodos de retorno.
 - Identificación de la vulnerabilidad en la vivienda, considerando el tipo de vivienda y sus características de 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 SISMICA

Se ha observado que la distribución de las construcciones dañadas y la magnitud de los daños que sufren ante un terremoto en áreas urbanas, presenta fuertes variaciones en función del tipo de suelo (*efecto de sitio*). Construcciones con características estructurales similares pueden colapsar en un sitio, mientras que otras ubicadas a unos cuantos metros, no sufren daño alguno. Los daños se acentúan en aquellas zonas 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 amplifican 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.
- Historia sísmica y delimitación del área de estudio: es importante consultar catálogos sísmicos de la región, además conocer la tendencia del crecimiento urbano.
- Identificación del peligro sísmico con base en la historia sísmica.
- Identificación del riesgo sísmico:

Se necesitan realizar estudios para evaluar y delimitar el *efecto de sitio*, como son:

- Geología-geotecnia e hidrología.
- Delimitación de zonas según período dominante del sitio.
- 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.
- Estudio de vulnerabilidad de las construcciones en las diferentes zonas identificadas.

En este trabajo, se describirá más adelante y a mayor 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 primera prioridad para auxiliar a la población y a los socorristas es la distribución de 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 aún el agua fósil, necesita 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. *Este debe utilizarse 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 ha desarrollado junto con los Sistemas de Información Geográfica (SIG), como herramientas para el análisis y procesamiento de información para 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 & Hirata, 1988), AVI (Van Stempvoort et al. 1992), SINTACS (Civita et al., 1990) y para zonas costeras GALDIT (Chachadi & Ferreira, 2001).

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

- Identificar la resistencia del acuífero a 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 a 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 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, generar 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, hay que tomar decisiones rápidamente (a veces incluso pueden ser potencialmente de vida o muerte). Las autoridades tienen que decidir las áreas que hay que evacuar, así como asegurar la vida en albergues. En estos albergues se debe socorrer a la población de las necesidades básicas como son: agua, alimento y abrigo.

Los manuales y reglamentos de construcción consideran las siguientes construcciones como prioritarias ante un desastre: hospitales, estaciones de bombero, escuelas, estadios, terminales de transporte, centrales eléctricas y de telecomunicaciones y sus estructuras para la transmisión o distribución, depósitos de sustancias flamables (depósito de combustible, gasolineras) o tóxicas (plantas de tratamiento por ejemplo), 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, entre otras, que pertenecen al Grupo A (NTC-2004 y MDOCFE-2008).

La importancia de estos servicios ante una situación de emergencia se debe a:

- **Hospitales:** En una emergencia según la severidad del paciente es imposible reubicar a los enfermos, así como existen infraestructura especial, equipo médico, y personal capacitado que tiene que permanecer en estos lugares ante un desastre.
- **Bomberos:** Los centros de socorro, como son los bomberos, representa un recurso humano invaluable que auxilian a la población. Estas construcciones deben diseñarse adecuadamente para mitigar los efectos de desastres y proteger el personal y equipo.
- **Albergues:** Se tienen que identificar los sitios potenciales que pueden funcionar de albergues en situaciones de emergencia, como son centros de convenciones, auditorios, teatros, escuelas. Además se deben proveer servicios adicionales como son tratamiento de aguas y recolección de residuos.
- **Sistemas de Agua:** Se consideran las plantas potabilizadoras, pozos de abastecimiento de agua. Se tiene que identificar qué población podría afectarse ante la falla de estos sistemas por un desastre. Así como evaluar las estructuras de estos sistemas para hacerlas más resistentes ante los desastres.
- **Sitios de contaminación:** Las plantas de tratamiento, basureros municipales, depósitos de sustancias tóxicas son fuentes 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, dificulta 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:** Se ven en la necesidad de habilitarse como albergues, pues cuentan al menos con los mínimos requerimientos sanitarios, 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.
- 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 potencial daño en las construcciones, dependiendo principalmente del número de niveles y el material de construcción, sin perder de vista su estructuración (forma y distribución de elementos resistentes), su peso y 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 es el área formada por la ciudad y puerto mexicano de Veracruz, en donde se integran los municipios de Veracruz, Boca del Río, Medellín y Alvarado, de gran importancia en la región por su actividad turística, portuaria y de crecimiento económico, lo que a su vez aumenta un crecimiento poblacional. Según resultados del censo 2010, la población de estos municipios suma 801,295 habitantes (INEGI, 2010).

Este crecimiento poblacional aumenta la vulnerabilidad ante fenómenos naturales como son inundaciones y terremotos.

En la figura 3, se presenta la zona conurbada Veracruz-Boca del Río-Medellín, que pertenece a la subcuenca Jamapa-Cotaxtla, y al acuífero costero de Veracruz, según regionalización de CONAGUA (www.conagua.gob.mx)

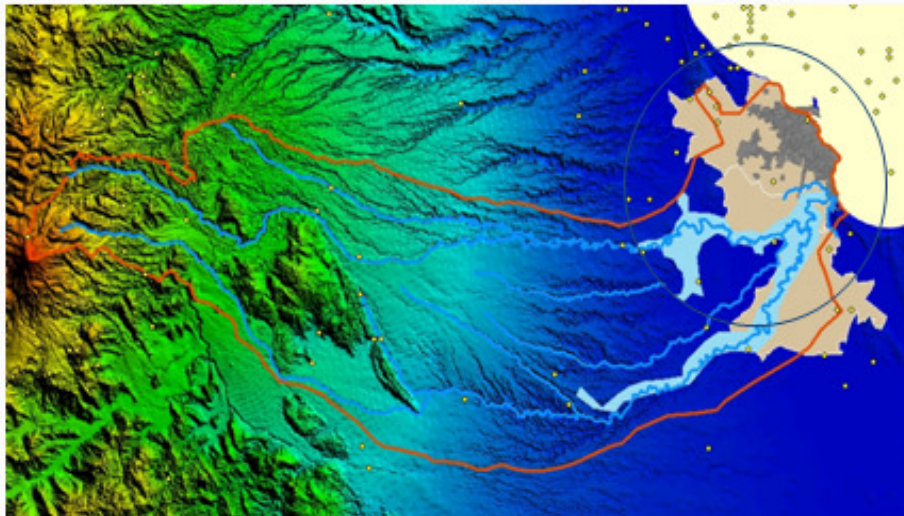


Figura 3. Subcuenca Jamapa-Cotaxtla y acuífero Costero que pertenecen a la zona conurbada Veracruz-Boca del Río.

ZONAS INUNDABLES

La cuenca hidrológica Río Jamapa, tiene una superficie de aportación de 1,976.1 kilómetros cuadrados, 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 km, con un volumen disponible a la salida de 1208.56 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, lo que se observó en la inundación de la zona conurbada por efecto del huracán Karl, que propiciaron un mayor escurrimiento en los ríos de respuesta rápida, asociados también a zonas de descarga de acuíferos.

Durante la contingencia del huracán Karl, los comunicados por parte de la CONAGUA; los días 17 y 18 Septiembre fueron:

- 17 Septiembre 2010: “El ojo del huracán *Karl* impactó a 15 kilómetros al norte del puerto de Veracruz a las 11:30 horas con categoría III en la escala Safira Simpson y provoca lluvias intensas a torrenciales en la región centro y sur de la entidad, *Karl* se encontraba a 65 kilómetros (km) al Este del puerto de Veracruz y avanzaba con dirección Oeste a 20 kilómetros por hora (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 milímetros (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 que la población asentada en los cauces de los ríos debe acudir a los albergues o zonas de refugio para evitar posibles daños generados por las crecientes de los ríos.” (CONAGUA,2010)a

- 18 Septiembre 2010:** “A las 5 horas 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 kilómetros por hora (km/h) hacia el sureste, por lo que continua el potencial de lluvias moderadas a fuertes sobre el centro y oriente del país. En el estado de Veracruz, los datos de precipitación registradas, en las estaciones de los municipios de Misantla fueron de, 355 milímetros (mm); Potrero Nuevo con 270.4 mm; Paso del Macho, 276 mm; Veracruz Puerto, 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 centro histórico, el zócalo de la ciudad, el palacio municipal de Veracruz y en la zona conurbada Veracruz- Boca del Río. Se exhortó 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”. (CONAGUA, 2010)b

En la figura 4, se presenta la mancha de inundación provocada por el huracán Karl (18 Septiembre 2010). Esta zona fue caracterizada por el 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 períodos de retorno, y para diferentes fenómenos hidroclimatológicos.

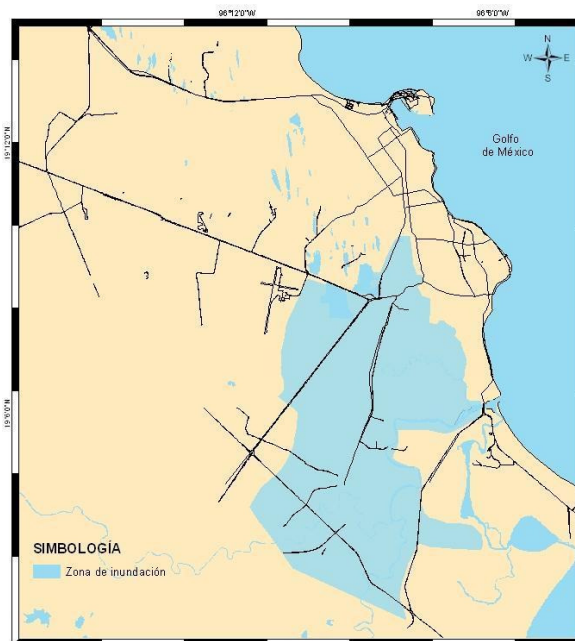


Figura 4. Zona de Inundación de la ZCV por efecto del huracán Karl 2010

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 CONACYT y el Gobierno del Estado de Veracruz Llave (ver lista de proyectos en las referencias), 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 de investigación esfuerzos importantes para que el Estado de Veracruz disponga de redes de monitoreo sísmico, aunque también existe la dificultad para garantizar la cobertura, actualización tecnológica e incluso su mantenimiento y permanencia, ya que generalmente estas redes 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 la figura 5 se ubican las estaciones temporales y la permanente en la ZCV.



Figura 5. Ubicación estaciones de Registro Sísmico

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 que ubica a Veracruz en los primeros tres lugares en pérdidas de vidas humanas en México. Para no omitir la presencia de sismos importantes, se elaboró el Catálogo de Sismos Históricos Pre-instrumentales (1523-1910) 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 3400

eventos. Con este último se detectó el período donde los registros son homogéneos, continuos y confiables (a partir de 1959).

Solo 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 del siglo XVIII hasta nuestros días. El área en estudio, incluye el casco histórico de la antigua ciudad amurallada, en algún tiempo conocido 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 mencionó, 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, observando 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. Es por ello que se requiere determinar dónde ocurren los sismos y la tasa de actividad sísmica entre otras cosas, acciones que constituye uno de los primeros pasos para analizar el origen y sus efectos, para estimar luego el *riesgo sísmico*, relacionado éste con las pérdidas esperadas por el fenómeno. Estos trabajos de investigación, incluyen una propuesta de regiones sismotectónicas del Estado de Veracruz (Leyva et al., 2009) en la figura 6, 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, 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 nocivos en cada región para analizarlos especialmente.

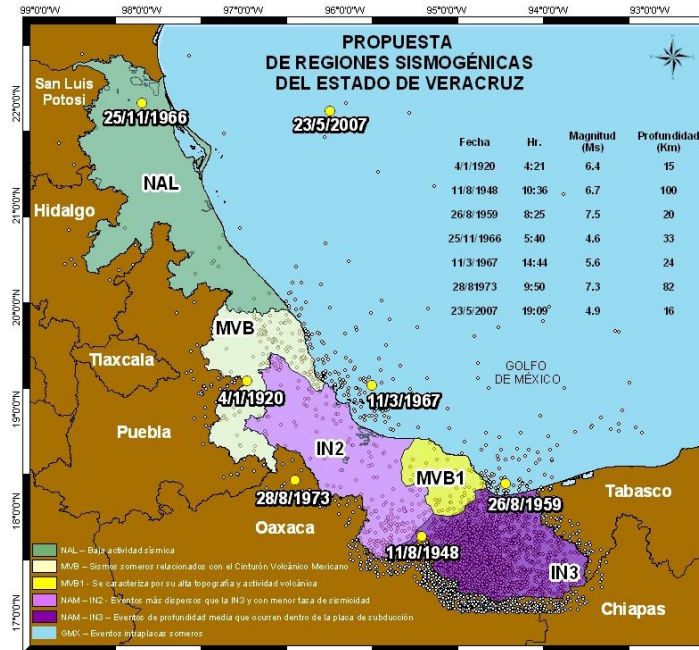


Figura 6.- Regiones Sismotectónicas del estado de Veracruz

Riesgo sísmico.- A pesar de la evidencia histórica y científica del efecto de los sismos en las construcciones por las condiciones locales del Estado, estas no han superado la influencia de otros intereses en la toma de decisiones para el desarrollo urbano, proliferando 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 o falta de cumplimiento de reglamentos modernos, donde se consideren condiciones locales. En el mejor de los casos, es práctica común en Veracruz, hacer una “adaptación” o una “dudosa” interpretación de manuales o reglamentos de otros Estados, o en el peor de los casos se omite 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 sísmico. Éste, significa una herramienta valiosa para la actualización o elaboración de normas de construcción.

Geología, geotecnia e hidrología.- Se analizaron los criterios más usados en los manuales y reglamentos mexicanos (el Manual de Diseño de Obras Civiles de la CFE-2008: MDOCFE-2008, el Reglamento de Construcciones para el DF 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 período dominante del suelo y las velocidades de onda de cortante. Como antecedentes se conocen los trabajos de Esquivel et al. (1976) y Páez (2001), que proporcionan información geológica-geotécnica de la ZCV dados en la figura 7, se recopilieron 24 estudios geotécnicos con un total de 40 sondeos de exploración con muestreo alterado, combinado con pruebas de penetración estándar (SPT), con los que se propusieron perfiles estratigráficos representativos, tomando las características medias de los sondeos (Williams et al., 2007 y 2010); Lermo et al. (1995), propuso una microzonificación sísmica preliminar de la misma zona. Se localizaron en la figura 8, antiguos cauces de ríos y caudales, espejos de

agua, zonas de relleno, y áreas ganadas al mar, actualmente dentro de la mancha urbana.

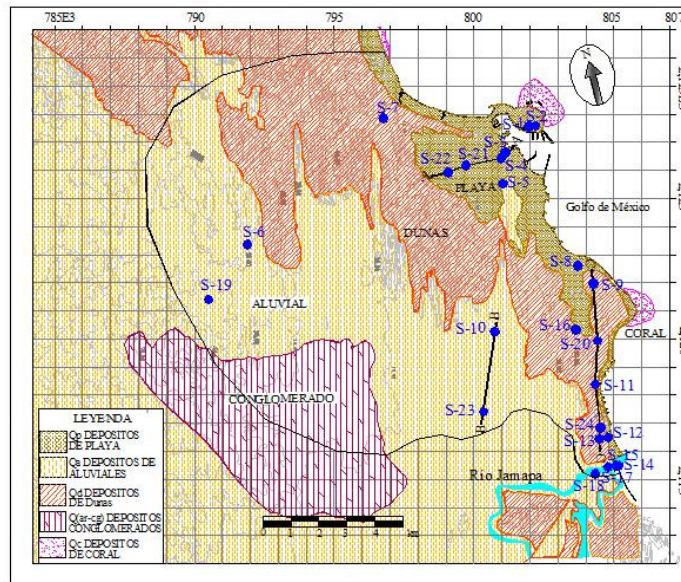


Figura 7 Zonificación Geológica-Geotecnica de la ZCV. Ubicación de sondeos geotécnicos (S) y cortes estratigráficos (A,B,C).

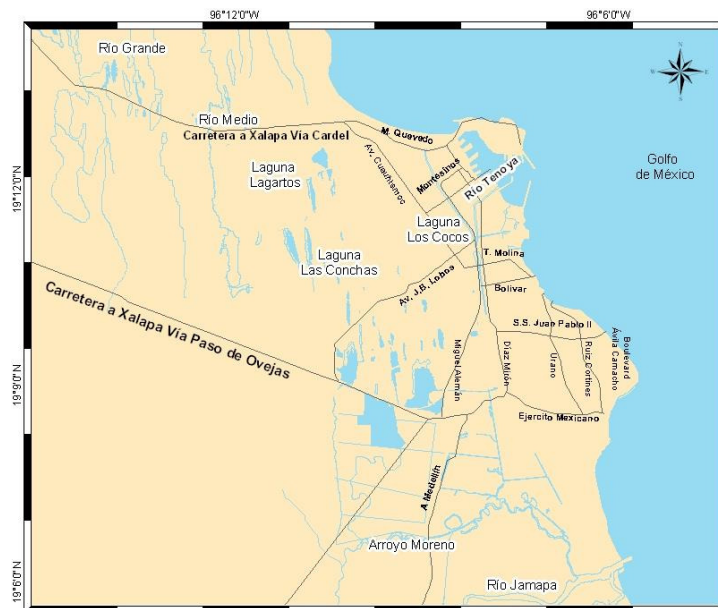


Figura 8 Antiguos y actuales cauces de ríos

Estudios geofísicos.- Para estimar el período dominante de los suelos, se recurrió a la medición de la vibración ambiental, método eficiente por su rapidez, sencillez de operación y bajo costo, en especial cuando es interpretado utilizando un mismo registro (*técnica de Nakamura, 1989: HVNR*). Se estimaron frecuencias y períodos 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 hecho 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 la dirección NS y la EW. Las FTEP se agruparon de acuerdo a su comportamiento dinámico, observando poca relación con su clasificación geológica. Se delimitaron así 4 zonas de familias de formas espectrales (FFE), mostrados en la figura 9. 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) basadas 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 (Tabla I)

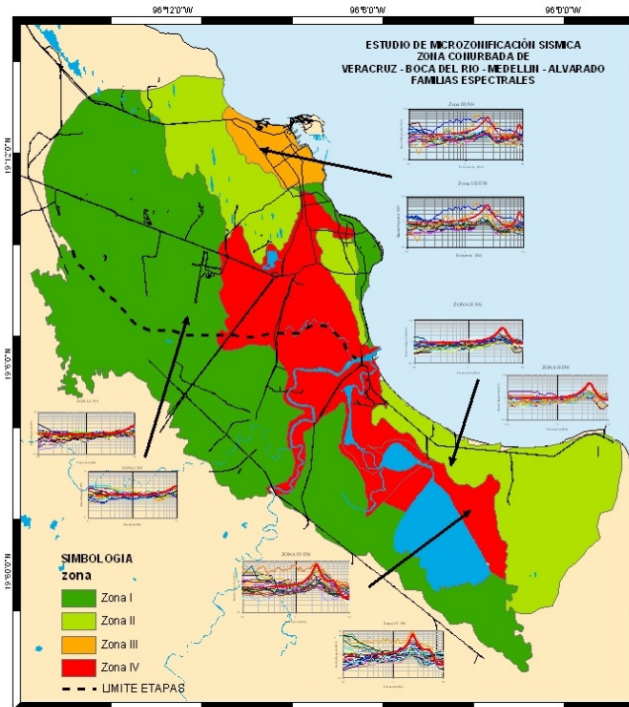


Figura 9 Familias de Formas Espectrales

Tabla I. Datos para obtener el espectro de diseño sísmico

Zona	Periodo Ts (seg)	Amplificación Relativa	MEU			
			Estrato No.	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

Mitigación del riesgo sísmico en las construcciones.- La aplicación de las herramientas mencionadas, contribuyen a la mitigación de los efectos de los sismos en las construcciones. Para las nuevas construcciones, se recomienda evitar que el período fundamental de la estructura (T_e) coincida con el período 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 un sismo. La resonancia hace que las deformaciones de las construcciones se amplifiquen en lugar de disiparse. Una fórmula empírica 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 períodos T_s de cada zona del mapa de familia de formas espectrales mostradas en la figura 9, 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 (Tabla II).

Tabla II.- Edificios vulnerables de la ZCV

Zona	No. de niveles
I	1
II	2-3
III	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 en 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 la Tabla III se presentan las capas temáticas necesarias para el entendimiento conceptual de un sistema acuífero con información disponible.

Para una interpretación hidrogeológica, se considera la geología, edafología, uso de suelo, hidrografía, topografía, para identificar las unidades hidrogeológicas. Estas 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.

Tabla III. Capas temáticas para la caracterización del sistema acuífero.

No Capa	Nombre	Tipo	Fuente
a) Mapa Base			
1	Límite acuífero	Polígono	CONAGUA
2	Municipios-Colonias	Polígono	Observatorio Urbano UV
3	Pobladors	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	Puntos	PEMEX
12	Cortes litológicos de pozos someros	Puntos	SAS
13	Geofísico	Puntos	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

En la figura 10 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 le da una

característica de permeabilidad alta, los materiales aluviales en la región centro tiene textura media, lo que le da una característica de permeabilidad media-alta y los materiales eólicos hacia la franja costera tiene 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 de 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.

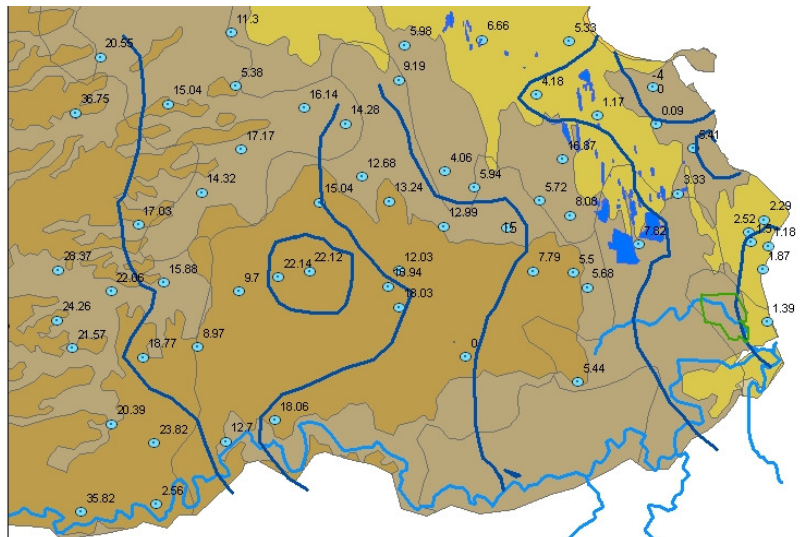


Figura 10. Hidrogeología de la zona de estudio.

Cabe mencionar que las lagunas interdunarias, son 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. Está conformado por 18 lagunas (Universo, 2005). El Arroyo Moreno es un área natural protegida sujeta a conservación ecológica, con el objetivo de preservar la biodiversidad que guarda el área, servir como refugio a especies silvestres migratorias y locales que intervienen en el equilibrio ecológico de la zona, representa una barrera natural de contención y protección contra el efecto de marejadas, ciclones, huracanes y tormentas tropicales; detiene la erosión costera causada por el viento y las olas; previene el azolve de ríos, lagunas y esteros, también permite reducir la tala inmoderada que afecta directamente al ecosistema de manglar, además de ser un patrimonio natural de importante belleza, valor recreativo y educativo (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