

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 geofísica-geológica y de la red de flujo, se presentan como secciones hidrogeológicas (figura 11).

Una sección hidrogeológica, es la representación esquemática de cómo el sistema opera 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 de una capa superficial de aproximadamente 30 m de espesor que se asocia con la litología superficial, 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 donde se extrae agua subterránea para diferentes usos y hacia los 200 m de profundidad, se tiene una capa que se asocia con materiales arcillo-arenosos. Se presentan elevaciones del nivel estático de 8-15 m por Puente Jula y disminuyen hacia la costa, con valores entre 0-2 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 el cálculo de la Disponibilidad se tiene una Recarga (R) de 508.3 Mm³/a, una Descarga Natural Comprometida (DNCOM) de 228.5 Mm³/a, y un volumen concesionado de aguas subterráneas (VCAS) de 117.22 Mm³/a (REPDA a Octubre de 2008), lo que da una Disponibilidad del Agua Subterránea (DAS) de 162.54 Mm³/a, según la NOM-011-CONAGUA-2000 (DOF, 2009).

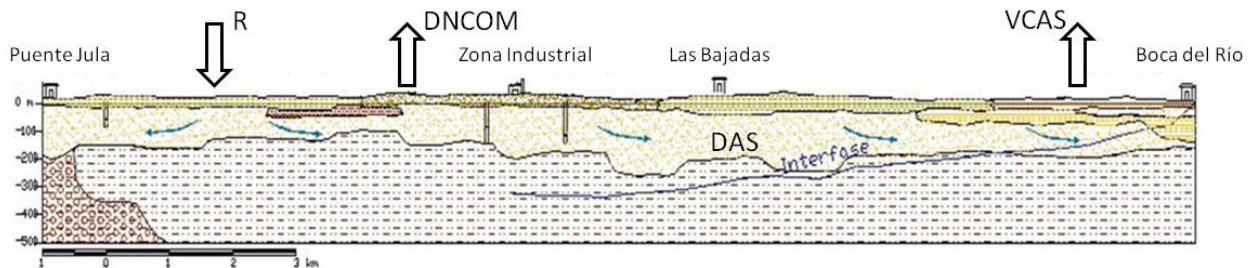


Figura 11 Sección hidrogeológica

Estas condiciones reflejan que el acuífero es en general de buena permeabilidad, por lo que tiene 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 presenta 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)c, 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 de los principales puntos problemáticos. Para que esta información sea provechosa, se tiene que dar mediante una comunicación y coordinación de los expertos y de quienes toman las decisiones. Esto también implica un mecanismo de apoyo a las decisiones efectivo que proporcione a tiempo una evaluación precisa de los riesgos, los posibles escenarios y las respuestas de emergencia posibles (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 la figura 12, se presenta 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, principales escuelas públicas, puentes y centros culturales, además de sitios que pudieran ser fuentes de contaminación como son: gaseras, gasolineras, cementerios y plantas de tratamiento.

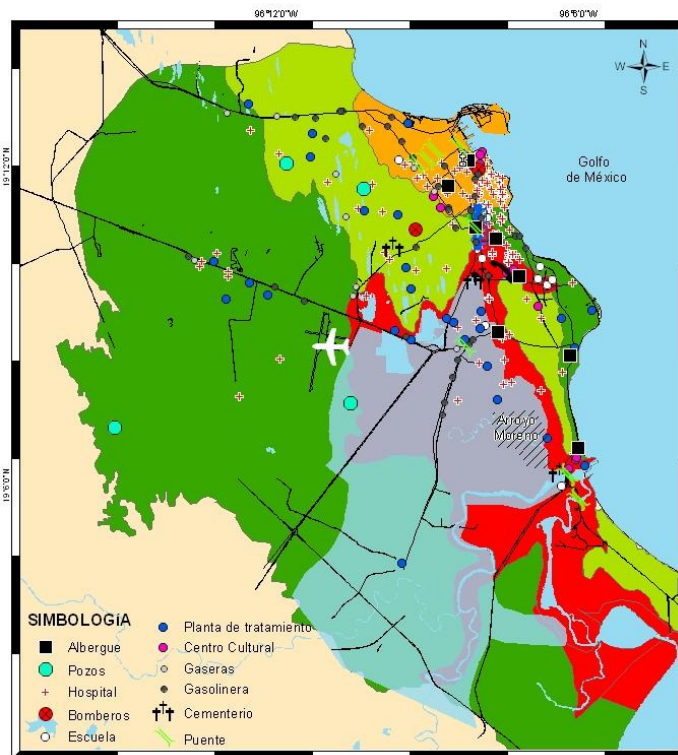


Figura 12. Microzonificación sísmica, zona de inundación por el huracán Karl y servicios estratégicos de la ZCV.

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 están en las tonalidades de verde son las menos vulnerables a eventos sísmicos, sin embargo la región Suroeste de Arroyo Moreno fue afectada por inundaciones. Es de especial interés 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 en naranja donde se localiza el centro histórico se inunda por precipitaciones intensas y es potencialmente vulnerable a sismos por el tipo de construcciones que son antiguas y alturas medias de 3 y 5 niveles. Las fuentes de contaminación deben ser evaluadas, para disminuir riesgos en la salud ante situaciones de desastres. En particular, la ubicación de las plantas de tratamiento debe ser considerada de tal forma que se identifique si es favorable construir pequeñas plantas de tratamiento en zonas inundables, o es mejor un sistema de saneamiento ubicado en una 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, Club de Leones, Auditorio Benito Juárez, Instituto Veracruzano del Deporte, Zona Militar, Caritas y DIF Veracruz; es recomendable que aunque estas construcciones no estén dentro del Grupo A (NTC-2004 y el MDOCFE-2008) sí deben cumplir con la normatividad vigente, considerándolas de este tipo. Esto permitirá reforzar estas construcciones ante situaciones de desastres.

HIDROGEOLOGÍA Y ZONAS DE PELIGRO

En la figura 13, se presentan la microzonificación sísmica, la zona de inundación y las curvas de igual elevación del nivel freático.

Este análisis permite identificar que eventos perturbadores como las inundaciones, tienen una correspondencia con la respuesta dinámica de los suelos ante efectos sísmicos, lo que a su vez influye en lo que representa otra amenaza, principalmente para las construcciones debido a que las inundaciones pueden cambiar las condiciones de humedad en suelos arenosos, provocando cambios en los niveles freáticos. 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 la fallas.

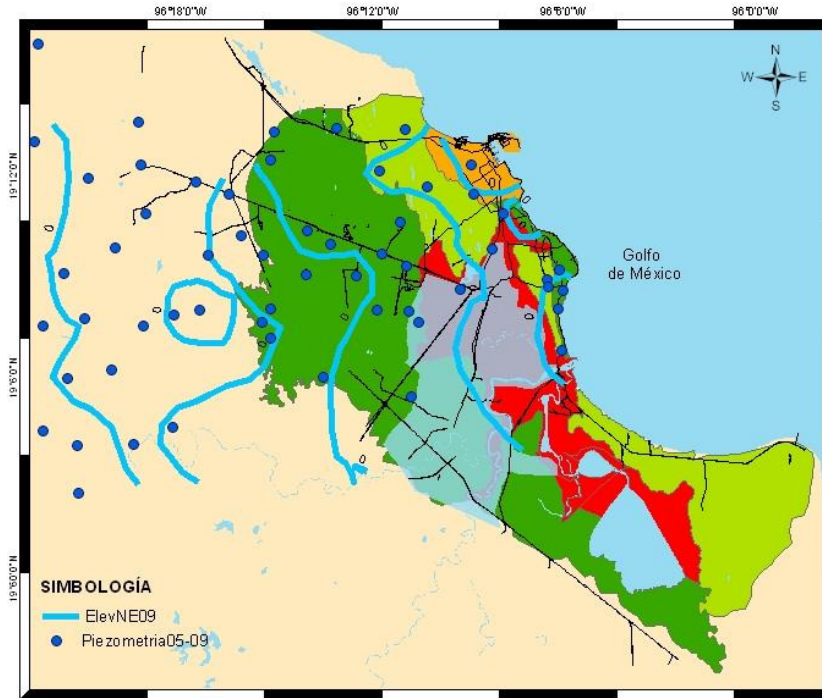


Figura 13. Zonas de peligro e hidrogeología

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 y en zonas costeras intrusión salina. Estos cambios en los niveles freáticos también se asocian con hundimientos o daños en las estructuras.

ZONAS DE ALERTA

En la figura 14, se presenta la zona potencial como fuente de suministro de agua ante una emergencia, así como las zonas de alerta, donde se tienen que realizar acciones para aumentar la resistencia de los sistemas ante un desastre.

Zona Naranja: En esta zona se ubican edificaciones importantes como son hospitales, bomberos, centros culturales, edificios de relevancia histórica como son el registro civil, el ayuntamiento y monumentos. Estas estructuras deben ser consideradas como del Grupo A, y no cumplen con la normatividad vigente. Es importante además, evaluar la vulnerabilidad de estos sistemas. Por ejemplo, en caso de un evento sísmico, las unidades de protección civil tendrían idea de dónde es más probable se presenten problemas.

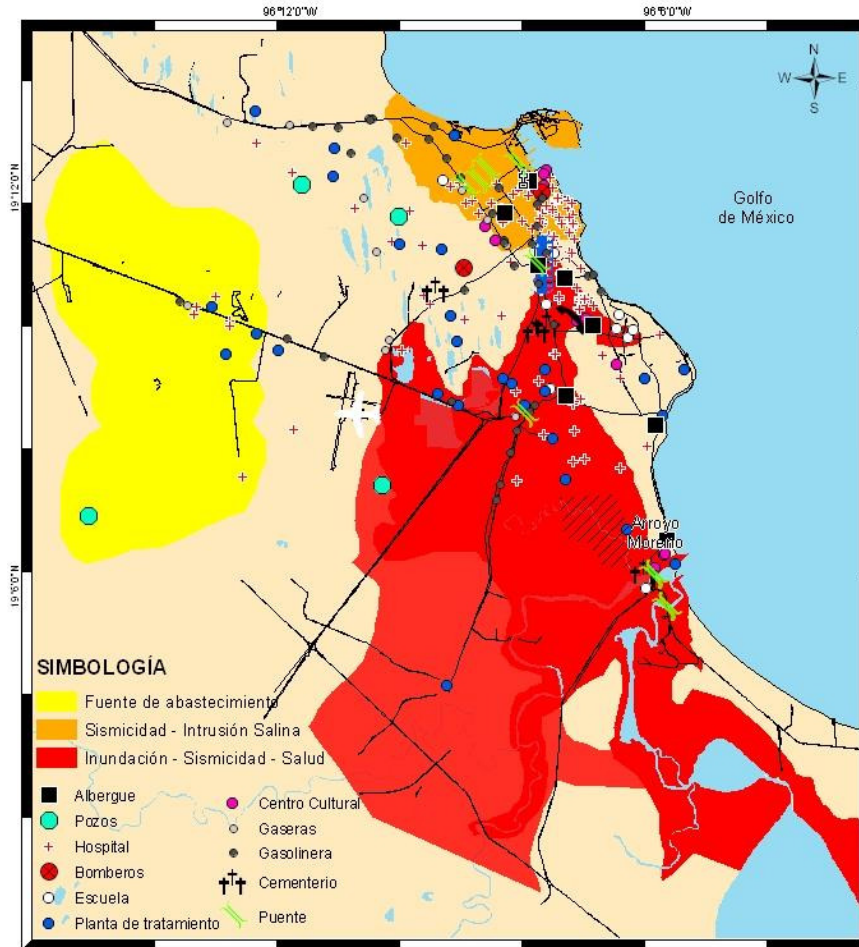


Figura 14. Zonas de Alerta en la Zona Conurbada

De especial interés es el abatimiento negativo del nivel freático, que se presenta en la zona centro-portuaria, 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 disminuyendo la disponibilidad del agua.

Zona Roja: Es la de mayor amplificación sísmica y fue zona de inundación por el huracán Karl, donde se observan que existen 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, la cual podría estar contaminada con agua residual.

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 de agua subterránea disponibles en cantidad y calidad que pudieran satisfacer la demanda de agua ante una emergencia. Es importante destacar, que estos pozos sólo se utilizaran durante los desastres, para evitar la explotación intensiva del acuífero.

CONSIDERACIONES FINALES

- 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 científica-técnica.
- El trabajo interdisciplinario, utilizando herramientas como los SIG es indispensable para comunicar el conocimiento y sea una 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, estas 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, donde 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.

REFERENCIAS:

- Aller L., Bennett T., Lehr J.H. and Petty R.J. (1987). "DRASTIC. A standardized system for evaluating groundwater pollution potential using hydrogeology settings". US. EPA. Report 600/2-85/02.
- AVR (2003). "Aquifer Vulnerability and Risk". Proceedings of the First International Workshop on Aquifer Vulnerability and Risk. Vo.I 1 y 2. Salamanca Guanajuato. 28-30 Mayo.
- Avilés J. y Trueba V. (1991). "Criterios de caracterización de sitios con fines de microzonificación: Manual de diseño por sismo de la CFE". Memorias del IX Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica. Manzanillo, Colima, México.
- Bazán, E y R Meli (2003). *Diseño sísmico de edificios*, Sexta reimpresión, Editorial Limusa, México.
- CENAPRED (2004). *Guía Básica para la Elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos*. Serie: Atlas Nacional de Riesgos 1.
- Chachadi A.G. y Lobo Ferreira (2001). "Sea water intrusion vulnerability mapping aquifers using GALDIT method". Proc. Workshop on modeling in hydrogeology, Anna University, Chennai, pp.143-156.
- Chow, V.T. Maidment, D., Mays, L., (1994). *Hidrología Aplicada*. McGraw-Hill, Inc.
- CONAGUA (2009). Presentación Oral. *Foro Regional de la Agenda del Agua 2030*, Asentamientos seguros contra inundaciones. Boca del Río Veracruz.
- CONAGUA (2010)a. Comunicado de Prensa No. 249-1
- CONAGUA (2010)b. Comunicado de Prensa No. 251-10.
- CONAGUA (2010)c. Datos piezométricos del acuífero costero de Veracruz 2005-2009.
- Comisión Europea (2004). Dirección General de Investigación. (<http://europa.eu.int>).
- Cruz Clara Luz, Marisol Tobón Santiago (2009). "Determinación de Áreas Propensas a Inundaciones en una microcuenca con aplicaciones de SIG". Tesis para obtener el título de Ingeniero Topógrafo y Geodesta Facultad de Ingeniería UV.
- Díaz Delgado C., Esteller Alberich, M.V., López-Vera, F., (2005). *Recursos hídricos-conceptos básicos y estudios de caso en Iberoamérica*, Red Iberoamericana de Potabilización y Depuración del Agua, Centro Interamericano de Recursos del Agua, Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma del Estado de México. Piriguazú Ediciones. (www.hidrored.com)
- Diario Oficial de la Federación (2008). Acuerdo por el que se da a conocer el resultado de los estudios de disponibilidad media anual de las aguas superficiales en las cuencas hidrológicas Río Actopan, Río La Antigua, Río Jamapa, Río Cotaxtla, Jamapa Cotaxtla y Llanuras de Actopan.
- Diario Oficial de la Federación (2009). Actualización de la Disponibilidad Media Anual de Agua Subterránea. Acuífero (3006) Costera de Veracruz. 28 Agosto 2009
- Esquivel R (1976). "Información General acerca del subsuelo de 17 Ciudades de México". Memorias de la VIII reunión Nacional de Mecánica de suelos, Tomo II, pp. 245-256, Guanajuato, México.
- Gutiérrez Martínez Carlos, Quass Weppen Roberto, Ordaz Schroeder Mario, Muriá Vilá David, Krishna Singh (2008). *Sismos*. Serie Fascículos. 1ª. Reimpresión de la 5ª. Edición. CENAPRED-SEGOB. (www.cenapred.gob.mx)
- INEGI (2010). Resultados del censo de población y vivienda 2010. (<http://200.23.8.5/sistemas/mexicocifras/MexicoCifras.aspx?e=0&m=0&sec=M&ind=1002000001&ent=0&enn=Estados%20Unidos%20Mexicanos&ani=2010&src=0>)

- K.Coch (1995). *Geohazards Natural and Human*. Prentice Hall. ISBN 0-02-322992.
- Lermo J., Torres G., Almanza P., Vargas A., Cruz J. y Hernández J.A. (1995). “*Efectos de sitio en el Puerto de Veracruz, México, Microzonificación Sísmica Preliminar*”. Memorias del XX congreso de la Academia Nacional de Ingeniería, A.C., pp.115-120, Veracruz, Ver., México.
- Leyva R., Williams F., Riquer G., Lermo J. (2009), “*Regiones sismogénicas de mayor peligro sísmico para el estado de Veracruz*”. Memorias del XVII Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica, Puebla, Puebla, México.
- Llamas, J. (1993), *Hidrología*. Principios y aplicaciones. Servicio editorial de la Universidad del País Vasco, 1993.
- Nakamura, Y (1989), “*A method for dynamics characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface*”, QR of RTRI, 30, No. 1, 25-33.
- Neri Flores Iris, (2007). “*Identificación de zonas vulnerables a intrusión salina en una zona costera de Veracruz*”. Tesis para obtener el título de Maestría en Ciencias de la Tierra (Aguas Subterráneas). Instituto de Geofísica. UNAM.
- Neri Flores Iris, Prol Ledesma Rosa Ma., Jacobo Villa Marco, Zamora Hernández Abigail (2010). “*Marco hidrogeológico del acuífero costero de Veracruz*”. Congreso Internacional Academia Journals.com. Tuxtla Gutiérrez Chiapas, México. ISSN 1946-5331 Online.
- OPS (1999). *El Agua en situaciones de Emergencia*. OPS/HEP/99/34. Serie “Autoridades locales, Medio Ambiente y Sanidad” (www.paho.org).
- Páez, I (2000). “*Características Geotécnicas y Criterios Básicos para el Diseño de Cimentaciones en la Zona Conurbada de Veracruz, Ver.*”, Tesis Profesional, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Villa Rica, Veracruz, Ver.
- Proyecto de Investigación clave 00-06-007-V (2001-2002): “Estudios sísmicos e Instrumentación en el Golfo de México (Microzonificación sísmica de la zona conurbada Veracruz-Boca del Río)”, financiado por SIGOLFO-CONACYT.
- Proyecto de Investigación clave 37025 (2007-2009): “Clasificación del tipo de terreno de cimentación para diseño sísmico”, financiado por Fondos Mixtos CONACYT-Gobierno del estado de Veracruz.
- Proyecto de Investigación clave 32675 (2007-2009): “Propuesta de zonificación sísmica para el estado de Veracruz”, financiado por Fondos Mixtos CONACYT-Gobierno del estado de Veracruz.
- Proyecto de Investigación clave 109208 (2009 - en proceso): “Determinación de la respuesta dinámica de los suelos de las zonas conurbadas de Coatzacoalcos y Veracruz para el desarrollo de normas técnicas para diseño sísmico del estado de Veracruz”, financiado por Fondos Mixtos CONACYT-Gobierno del estado de Veracruz.
- Riquer G., Williams F., Lerma J., Torres G. y Leiva R. (2003). “*Microzonificación Sísmica en la Zona Conurbada Veracruz-Boca del Río*”, Memorias del XIV Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica, Guanajuato-León, México.
- Salas Salinas Marco Antonio, Jiménez Espinoza Martin (2007). *Inundaciones*. Serie Fascículos. CENAPRED-SEGOB. 1ª. Reimpresión. (www.cenapred.gob.mx)
- SARH (1980). Dirección General de Programas de Infraestructura Hidráulica. Subdirección de Ge hidrología y de Zonas Áridas. Departamento de Hidrología Subterránea “*Continuación del Estudio Ge hidrológico de la Zona de Jamapa, Estado. De Veracruz*” Tomo I Contrato. No. GZA-80-81, 1980.
- SEDESOL (2007). *Bases para la Estandarización en la Elaboración de Atlas de Riesgos y Catálogo de Datos Geográficos para Representar el Riesgo*. Programa HABITAT-SEDESOL.

- Suárez Gerardo (1991). "El sismo de de Xalapa del 3 de enero de 1920". Revista Ingeniería Sísmica, No. 42, p. 3-15, agosto 1991. Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica. México D.F.
- Torres Morales Gilbert, Lermo Javier, Mora Ignacio, Dávalo Raymundo, Gómez David (2005). "Efecto de sitio y vulnerabilidad sísmica del centro histórico de la ciudad de Veracruz", Memorias del XV Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica, México, D.F.
- Torres Morales Gilbert, Álvarez Palacios José Luis, García Martínez Jorge, Pacheco Víctor Hugo, Dávalos Sotero, Raymundo, Mora González, Ignacio (2010). *Microzonificación de peligros por inundaciones en áreas urbanas*. Presentación Oral. Foro Inundaciones. 23 Noviembre 2010. Centro de Ciencias de la Tierra, Universidad Veracruzana.
- UNESCO (2006). *Groundwater for emergency situations IHP-VI*. Series on Groundwater No.12.
- Universo (2005). *Periódico de los Universitarios UV*. Julio-Septiembre.
- Williams F., Riquer G., Leyva R. y Torres G. (2003). "Red Acelerográfica de la zona conurbada Veracruz-Boca del Río", Memorias del XIV Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica, Guanajuato-León, México.
- Williams, F., Limaymanta, F., Riquer, G., Leyva, R., Lermo, J., (2007). "Clasificación dinámica de terrenos de cimentación con fines de diseño sísmico en la zona conurbada Veracruz-Boca del Río (ZCV)" .XVI Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica. Ixtapa-Zihuatanejo, Guerrero, México.
- Williams F., Riquer G., Leyva R., Lermo J., Pérez S., Rivera R. (2010). "Espectros de diseño sísmico para las construcciones del estado de Veracruz de acuerdo a CFE-2008", Memorias del XVII Congreso Nacional de Ingeniería Estructural, León, Guanajuato, México.

Páginas web consultadas:

- <http://www.atlasriesgosver.gob.mx/mapper/map.phtml?&language=en> (30 enero 2011)
- <http://www.conagua.gob.mx> (10 enero 2011)
- <http://www.rembio.org.mx> (10 enero 2011)
- <http://portal.veracruz.gob.mx/pls/portal/docs/PAGE/CGMA/DIFUSION/ENPS/ANPS/AREA%20NATURAL%20PROTEGIDA%20ARROYO%20MORENO.PDF> (Coordinación General de Medio Ambiente CGMA) (30 enero 2011)
- http://www.who.int/csr/don/2010_10_28/es/index.html (30 Enero 2011)