

EJE TEMÁTICO: IV

**Ampliación de la red de registro sísmica del estado de Veracruz fundamentada en una propuesta de regionalización sismotectónica.**

**Extension of the seismic network of registry of the state of Veracruz based on a proposal of seismotectonic regionalization.**

Guadalupe Riquer Trujillo<sup>1,2\*</sup>, Francisco Williams Linera<sup>1,2</sup>, Regino Leyva Soberanis<sup>1,2</sup>,  
Javier Lermo Samaniego<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Ingeniería de la Universidad Veracruzana, México

<sup>2</sup>Facultad de Ingeniería Región Veracruz de la Universidad Veracruzana, México

<sup>3</sup>Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México

\*Ponente: Tel. (229)7752000 ext. 7, Fax: ext. 22216 y 775-20-09 E-mail: guadaluperiquer@yahoo.com.mx

**Resumen:**

Se propone una ampliación de la red de instrumentación para el registro sísmico en el estado de Veracruz, que permita estimar con mayor precisión la respuesta dinámica de los suelos para reducir el riesgo sísmico, frecuentemente relacionado con daños en las construcciones. El estudio del fenómeno sigue siendo la herramienta más efectiva para tomar medidas de prevención. La propuesta, se apoya en una investigación formal del peligro sísmico del Estado a través de la elaboración y análisis de los catálogos de sismos históricos (1523-1910) e instrumentales (1910-2008); este último examinado en su homogeneidad y completitud con el programa ZMAP, con el que se analiza también la sismicidad de la región. El trabajo es completado con un examen de la fisiografía de la región para hacer una propuesta de subdivisión del Estado de Veracruz en regiones sismotectónicas. Con la finalidad de optimizar recursos, sin detrimento de la cobertura, la ampliación de la red se hace considerando también los esfuerzos aislados de las estaciones existentes, tanto Veracruz como en estados vecinos. Estos trabajos son producto del proyecto de investigación "Propuesta de zonificación sísmica para el estado de Veracruz", clave FOMIX 32675, financiados por CONACYT y el Gobierno del Estado de Veracruz Llave, en el período 2007-2009.

**Palabras clave:** riesgo sísmico, peligro sísmico, regiones sismotectónicas, zonificación sísmica

**Abstract:**

Proposes an expansion of the network of seismic instrumentation for registration in the state of Veracruz, to estimate more accurately the dynamic response of soils to reduce the seismic risk, often associated with damage to buildings. The study of the phenomenon remains the most effective tool to take preventive measures. The proposal is supported by a formal investigation of the seismic hazard of the state through the development and analysis of historical earthquake catalog (1523-1910) and instrumental (1910-2008), the latter considered in its completeness and consistency with the program ZMAP, which also analyzed the seismicity of the region. Work is completed with a review of the physiography of the region to make a proposal for subdivision of the State of Veracruz in seismotectonic regions. With the aim of optimizing resources, without detriment to coverage, expanding the network is also considering the isolated efforts of existing stations, both in neighboring states like Veracruz. These works are the product of the research project "Propuesta de zonificación sísmica para el estado de Veracruz", clave FOMIX 32675, financed by CONACYT and the Government of the State of Veracruz, in the period 2007-2009.

**Key words:** seismic risk, seismic hazard, seismotectonic regions, seismic zoning

Código: x-

### **Antecedentes**

La periodicidad de ocurrencia de sismos con determinada intensidad en una zona, define el peligro sísmico de la misma. Estudiar el fenómeno depende en gran medida de la densidad y cobertura adecuada de una red de instrumentación instalada para el registro sísmico. Conocer la amenaza de una región, permite tomar medidas para atenuar las afectaciones, sobre todo en las construcciones, pues si bien los sismos actúan en forma general, afectan mayormente a las más vulnerables. Aunque los sismos de grandes magnitudes en México tienen su epicentro en las costas del Océano Pacífico, sismos importantes han marcado a Veracruz (Jáltipan 1959, Jalapa 1920 y Orizaba en 1973), y su potencial sísmico aún no ha sido suficientemente estudiado por la poca información disponible.

### **Introducción**

La instrumentación en el estado de Veracruz, tienen sus inicios a principios del siglo pasado con la instalación de un sismógrafo Wiechert en la ciudad de Veracruz, que deja de funcionar en 1997. Formaba parte de las primeras acciones organizadas en México para el registro y estudio de los sismos.

La propuesta de instrumentación para el monitoreo sísmico en el estado de Veracruz y el Golfo de México que se hace en este trabajo, surge de un análisis previo de la sismicidad del Estado, y propone localidades con coordenadas geográficas aproximadas de la localización de estaciones de registro, así como recomendaciones de equipos.

Se elaboraron los catálogos de sismos históricos pre-instrumentales y el de sismos instrumentales. Apoyados en la fisiografía del Estado y con los elementos antes mencionados, se hizo una propuesta de subdivisión del Estado de Veracruz en regiones sismotectónicas.

La distribución de instrumentación propuesta, va de la mano con la optimización de recursos, y considera los esfuerzos y avances aislados de algunas dependencias que ya tienen redes y estaciones en Veracruz y en las cercanías de los estados colindantes. Se pretende cubrir aquellas áreas de interés que están fuera de la cobertura de la instrumentación instalada y evidenciar la necesidad de permanencia de aquellas que pudieran ser estaciones temporales.

### **Catálogo de sismos históricos (1523-1910)**

La actividad sísmica puede ser de larga periodicidad, y si nos limitamos solo a los registros instrumentales, corremos el riesgo de omitir la presencia de sismos importantes. El primer en el estado al que hacen mención los españoles después de la conquista, es el ocurrido en la sierra, posiblemente cerca del Valle de Tehuacán entre los estados de Veracruz y Puebla el 1<sup>o</sup> de abril de 1523, y es hasta 1910 cuando en el gobierno de Porfirio Díaz se instala la primera estación de registro sísmico instrumental en la ciudad de Veracruz. Por ello se estableció este período para el catálogo pre-instrumental, que contiene 220 sismos “sentidos” en el estado. Se recurrió a fuentes bibliográficas como “Los sismos en la historia de México”, 1996 de García y Suárez. Esta base de datos contiene fechas de ocurrencia, características del movimiento, lugares de afectación del sismo y la respuesta de la gente entre otros datos. Con este catálogo se identificaron zonas con mayor densidad de epicentros posibles.

### **Catálogo de sismos instrumentales (1910-2008)**

El Catálogo de la Sismicidad de México, sin publicar, 2008 de F. R. Zúñiga, fue una de las bases de datos más completa, y quedó complementada con catálogos nacionales como el del Servicio Sismológico Nacional (SSN), el de la red sísmica local de Laguna Verde (CFE), el del Instituto de Ingeniería de la Universidad Veracruzana (REVIS) y el de I. Mora para el estado de Veracruz, cada uno de ellos en sus diferentes períodos. Se consultó también la agencia internacional U.S. Geological Survey (USGS).

Código: x-

Se evaluó el estado de homogeneidad y completitud del catálogo para considerar factores como la diversidad de aparatos de registro y la permanencia de los mismos, las técnicas usadas para la obtención de parámetros sísmicos y las imprecisiones atribuibles a la distancia de los aparatos de registro, entre otras cosas. Se tomaron solo aquellos sismos con epicentros cuyas coordenadas se localizaron en la ventana: Latitud Norte: 17° a 23° y Longitud Oeste: 93° a 99°. Incluyen al estado de Veracruz y una franja exterior de aproximadamente 20 Km de ancho, con la finalidad de comprender sismos importantes ocurridos cerca del estado como el del 28 de agosto de 1973; contiene también parte del Golfo de México.

Se cuidó la duplicidad de un mismo evento, las unidades horarias y de magnitud, se precisaron algunas coordenadas epicentrales y se consultaron fuentes más recientes de ciertos eventos con estudios a detalle, a los que se les dio prioridad. El catálogo quedó constituido por 3244 eventos, cuya distribución espacial epicentral de la región se muestra en la figura 1. El análisis del catálogo se hizo con el paquete ZMAP (S. Wiemer, con aportaciones de R. Zúñiga y otros), el cual es de uso cotidiano en varios observatorios sismológicos mundiales, y constituye una herramienta muy útil para el análisis de la completitud y homogeneidad de catálogos, que a su vez despliega con gráficos; define las anomalías en la tasa de sismicidad de una región y realiza análisis de detalle en regiones seleccionadas. Para el manejo y presentación de mapas se usó el programa ArcGis.

Se concluye que el catálogo posee datos confiables a partir de la magnitud de completitud  $M_c=2.7$  (Fig. 2); se observa una desviación en la curva para sismos de magnitud  $M_s \geq 6$ , posiblemente por la falta de registros en un período más largo. Se aprecia un incremento en la capacidad de detección de la sismicidad regional a partir de 1959 (Fig. 3), por tal razón el análisis de sismicidad de la región se hizo para este periodo.

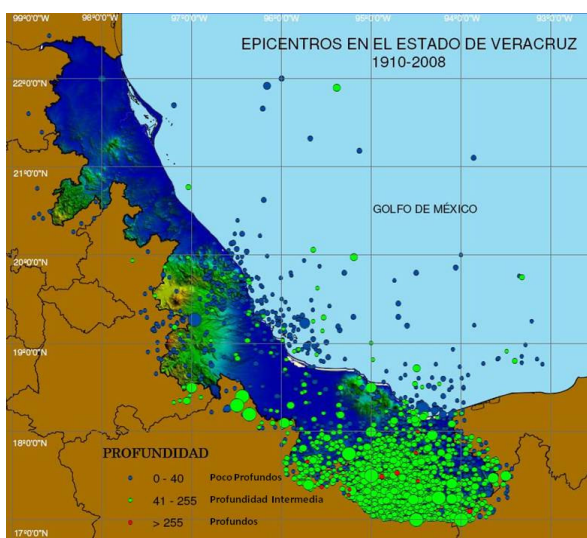


Figura 1- Epicentros registrados entre 1910 y 2008

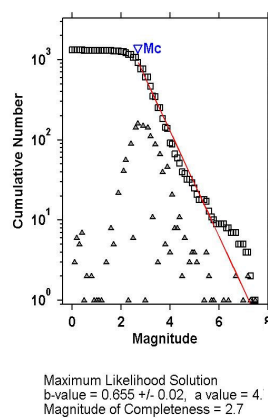


Figura 2.- Relación magnitud frecuencia

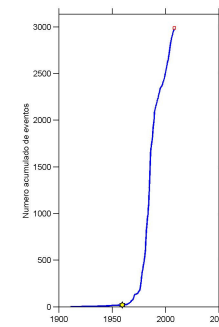


Figura 3.- Capacidad de detección de la sismicidad

### Fisiografía del estado de Veracruz

La mayor parte de México, está ubicado dentro de la gran placa tectónica de Norteamérica, y la zona de más alto potencial sísmico es en la zona de subducción, donde la placa de Cocos se desplaza hacia el continente. Para el estado de Veracruz (Fig. 4), las características de su relieve provocadas por tectonismo lo definen las Provincias Fisiográficas:

Código: x-

**Llanura Costera del Golfo Norte:** Es, en general, una superficie plana con suave inclinación, la altitud va del nivel del mar a 200 m; se originó por levantamientos tectónicos del cenozoico caracterizados por formas de planicie costera.

**Eje Neovolcánico (Cinturón Volcánico Mexicano):** Se caracteriza como una enorme masa de rocas volcánicas de diversos tipos, acumulada en numerosos y sucesivos episodios volcánicos que se iniciaron a mediados del Terciario y continuaron hasta el presente. Uno de sus rasgos característicos es la franja de volcanes que se extiende de oeste a este. En esta región se encuentran sierras volcánicas, coladas lávicas, conos cineríticos y depósitos de ceniza.

**Llanura Costera del Golfo Sur:** En ella se presentan grandes depósitos aluviales por parte de los ríos más caudalosos del país que desembocan en el Golfo de México. La mayor parte de su superficie, con excepción de la Discontinuidad Fisiográfica de Los Tuxtlas y algunos lomeríos bajos, está muy próxima a nivel del mar y cubierta por material aluvial, donde predominan materiales arcillo arenosos, asimismo, es común encontrar extensas superficies bajas sujetas a inundación.

**Sierra Madre del Sur:** Tiene una litología en la que sobresalen rocas intrusivas y metamórficas. En la sierra Zongolica predominan las rocas calcáreas del Cretácico, sin embargo, afloran esquistos asociados con aluviones antiguos. Sus cumbres exceden los 2000 msnm.

**Sierra Madre Oriental:** Se encuentra en forma más o menos paralela a la costa del Golfo de México. Se inicia en el sur de Texas y termina en el Cofre de Perote, punto de contacto con la Cordillera Neovolcánica. Es fundamentalmente un conjunto de sierras menores de estratos plegados, de rocas sedimentarias del Cretácico y Jurásico Superior, donde predominan las calizas, areniscas y lutitas.

**Sierra de Chiapas y Guatemala:** Esta formada por sierras constituidas de rocas sedimentarias marinas del Mesozoico, principalmente calizas. Son sierras plegadas con los ejes estructurales orientados este-oeste y afectadas por fallas.

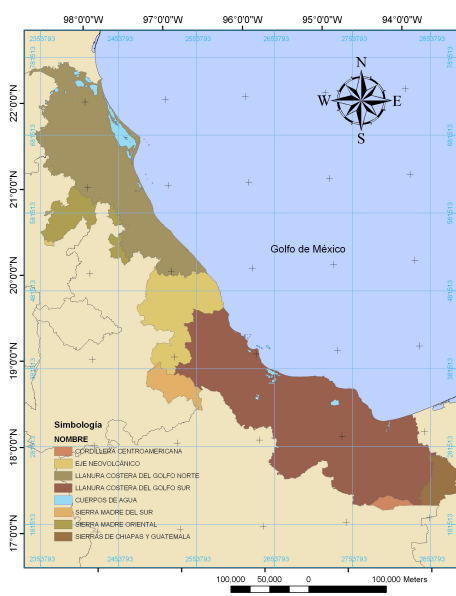


Figura 4.- Fisiografía del estado de Veracruz



Figura 5.- Regiones Sismotectónicas

### Propuesta de regiones sismotectónicas del estado de Veracruz

Con base en el análisis de la sismicidad y la fisiografía, se hizo una propuesta de regiones sismotectónicas, tomando consideraciones como la localización hipocentral de eventos de

*Código: x-*

características similares, las características tectónicas comunes de la zona, mecanismos focales y/o patrones de fallamiento, características principales de la liberación de energía de los sismos dentro de cada región e identificación de aquellos eventos cuyas afectaciones a la población resultaron los más nocivos en cada región. Una referencia relevante fue el trabajo realizado por R. Zúñiga et. al. "Peligro Sísmico en Latinoamérica y el Caribe", 1997, de donde se toma la nomenclatura para esta propuesta (Fig. 5).

*Región MVB:*

Se caracteriza por los volcanes que en su área se extienden. La mayoría de los eventos que ocurren en esta zona son de poca profundidad ( $h < 40$  km) y baja magnitud ( $M_s < 4$ ). Estos sismos someros son eventos intraplaca, y se relacionan con la placa Norteamericana (NOAM) y esfuerzos tensionales relacionados con el Cinturón Volcánico Mexicano. Posiblemente active el mecanismo de fallamiento inverso el balance entre los esfuerzos, producidos por la alta topografía del cinturón volcánico y los inducidos por la interacción de placas. El sismo característico en esta zona es de poca profundidad ( $h = 24$  Km), pero con un gran potencial destructivo como el del 4 de enero de 1920 ( $M_s = 6.4$ ).

*Región MVB1:*

Al igual que la anterior se caracteriza por su alta topografía y actividad volcánica, aunque rodeado de una fisiografía diferente. La mayor actividad sísmica es de poca profundidad ( $h < 40$  km) y magnitud ( $M_s < 4$ ), sin embargo han ocurrido sismos de profundidad intermedia ( $40 \leq h \leq 255$  km) y magnitud  $5 \leq M_s \leq 6$ , que por su cercanía a centros poblacionales los hace riesgosos.

*Región NAM:*

Es una zona con una mayoría de eventos intraplaca (NOAM) someros ( $h < 40$  km) y magnitud  $M_s < 4$ . La concentración de los eventos y la tasa de sismicidad de los mismos, permite hacer una subdivisión a:

*IN2:*

Eventos más dispersos que la IN3 y con menor tasa de sismicidad. La mayoría de los eventos son de mediana a poca profundidad y magnitud  $M_s < 4$ . Como un evento importante en sus cercanías (epicentro en Oaxaca) destaca el del 28 de agosto de 1973, con una  $M_s = 7.3$  y profundidad  $h = 82$  km, conocido como el temblor d Orizaba por los daños en esa ciudad.

*IN3:*

Esta zona cercana al Istmo de Tehuantepec presenta una mayor tasa de sismicidad, y la mayoría de sus eventos son de fallamiento normal y de poca profundidad ( $h < 40$  km) con magnitud  $M_s < 4$ . En menor tasa hay eventos de profundidad media, que ocurren dentro de la placa de subducción, cerca de la colindancia con Oaxaca, pero con mayores magnitudes ( $6.7 \leq M_s \leq 5$ ), y profundidades cercanas a los 100 km. Zona cercana a la de transición de la subducción de Cocos por debajo de NOAM, a subducción bajo la placa de Caribe. En el Estado destaca el sismo del 11 de agosto de 1948, con una profundidad  $h = 100$  km, y  $M_s = 6.7$ .

*Región GMX:*

Es una región con eventos intraplacas someros, aunque con una sismicidad registrada escasa no deja de ser importante por su cercanía a ciudades densamente pobladas, así como de gran peligro para plataformas marinas. Por su magnitud ( $M_s = 7.5$ ) y ubicación, vale la pena mencionar los sismo del 26 de agosto de 1959 con una profundidad  $h = 20$  km cerca de Coatzacoalcos y el del 11 de marzo de 1967 con una profundidad  $h = 24$  km y magnitud  $M_s = 5.6$ , frente a la ciudad y puerto de Veracruz.

Código: x-  
Región NAL:

Es una zona de baja actividad sísmica detectada por la red nacional, con eventos solamente localizables por redes de cobertura local. El sismo máximo registrado es de Ms=4.6 el 25 de Noviembre de 1966, con profundidad indefinida.

### Selección de las localidades

Se ubicaron geográficamente las redes y estaciones de registro sísmico existentes en el estado de Veracruz y los estados colindantes, y se investigaron sus principales características.

Se articularon los instrumentos disponibles antes descritos y se procedió a seleccionar los sitios para la ubicación de estaciones de registro sísmico. También se consideraron aspectos como la seguridad de las estaciones e infraestructura de servicios, incluyendo la de acceso. La figura 6 presenta la propuesta de instrumentación, complementada con las Tablas 1 a 4.

En ciudades como Coatzacoalcos y Minatitlán se recomienda colocar una estación temporal en terreno blando si las estaciones permanentes existentes estén en terreno firme (Ver Tabla 2, estaciones 4 y 5), para de esta manera contar con registros simultáneos que permitan estimar efectos de sitio. Esto último va encausado a la elaboración de reglamentos municipales de construcción.

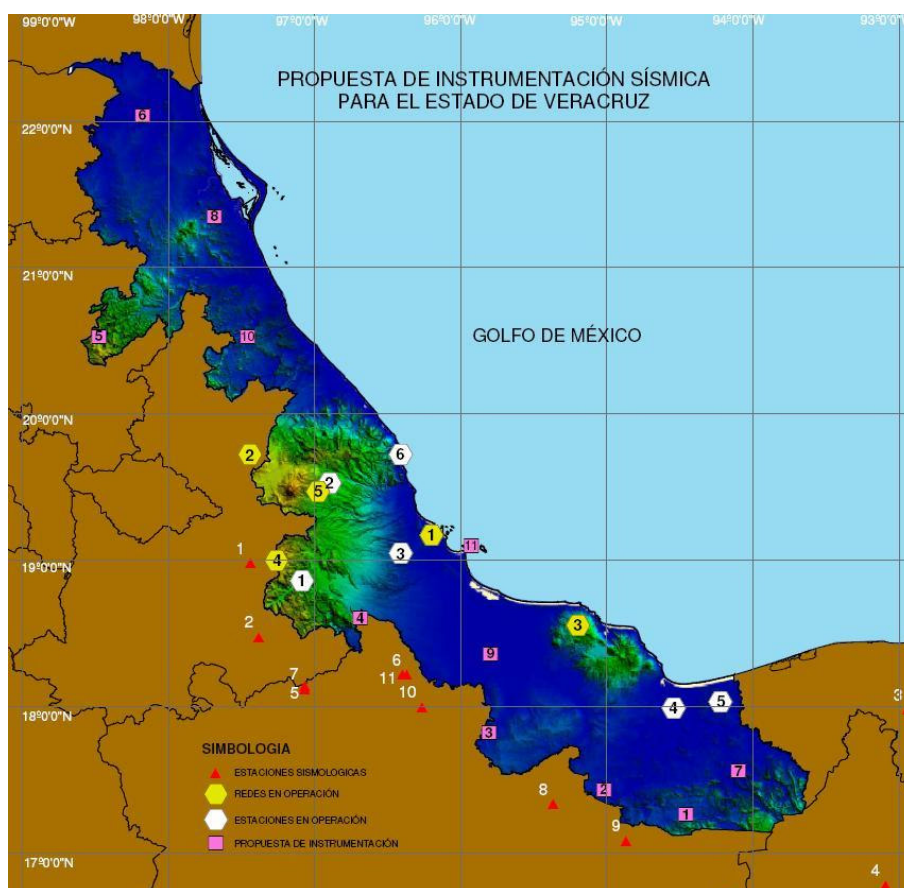


Figura 6.- Propuesta de Instrumentación

Código: x-

Tabla 1.- Propuesta de Instrumentación

No.	UBICACIÓN	COORDENADAS	
		LONG	LAT
1	CHINANTLA	-94.46	17.26
2	JESUS CARRANZA	-95.02	17.43
3	PLAYA VICENTE	-95.81	17.82
4	TEZONAPA	-96.68	18.60
5	HUAYACOCOTLA	-98.48	20.53
6	PANUCO	-98.18	22.04
7	ALTO UXPANAPA	-94.10	17.56
8	NARANJOS	-97.69	21.35
9	COSAMALOAPAN	-95.80	18.36
10	POZA RICA	-97.46	20.53
11	ISLA DE ENMEDIO	-95.93	19.10

Tabla 2.- Estaciones dentro del Estado

No.	INSTITUCIÓN	UBICACIÓN	COORDENADAS	
			LONG	LAT
1	RSM - UNAM	ORIZABA	-97.09	18.86
2	RSM - UNAM	XALAPA	-96.90	19.53
3	RSM - UNAM	SOLEDAD DE DOBLADO	-96.41	19.04
4	RSM - UNAM	MINATITLAN	-94.54	17.99
5	SSN	COATZACOALCOS	-94.22	18.03

Tabla 3.- Redes dentro del Estado

No.	INSTITUCIÓN	UBICACIÓN	COORDENADAS	
			LONG	LAT
1	REVIS - UV	VERACRUZ	-96.20	19.17
2	CFE	HUMEROS	-97.45	19.72
3	CCTUV	SAN MARTIN	-95.20	18.55
4	CENAPRED	PICO DE ORIZABA	-97.26	19.00
5	CCTUV	XALAPA	-96.98	19.47

Tabla 4.- Estaciones Sismológicas fuera del Estado

No.	INSTITUCIÓN	COORDENADAS	
		LONG	LAT
1	RSM-UNAM	-97.44	18.98
2	RSM-UNAM	-97.38	18.47
3	RSM-UNAM	-92.93	17.98
4	RSM-UNAM	-93.08	16.77
5	CFE	-97.06	18.14
6	ITO	-96.37	18.22
7	ITO	-97.07	18.12
8	II-UNAM	-95.36	17.33
9	II-UNAM	-94.86	17.08
10	SASO	-96.26	18.00
11	SASO	-96.40	18.21

### Sugerencias para la construcción equipamiento de la red

Se recomienda la instalación de estaciones en terrenos firmes, tomando en consideración: la topografía, geología, hidrología y geotecnia, para su ubicación y el diseño de las bases.

Deberán evaluarse las características de los aparatos de registro para elegir el idóneo de acuerdo a su costo directo, capacidad de almacenaje, accesorios y mantenimiento, entre otros factores. Se deben tomar medidas de protección ante agentes locales como: inundaciones, descargas eléctricas o cambios de voltaje, corrosión, altas o bajas temperaturas y vandalismo principalmente. Se recomiendan como accesorios periféricos para la adquisición de los registros: baterías, cables, ductos, sistema de posicionamiento global, celdas solares para lugares remotos sin corriente eléctrica, acceso vía modem.

### Recomendaciones

La operación de la red debe ser permanente los 365 días del año para ser considerada como confiable. Se propone una coordinación estatal, donde se concentren los registros de todas las estaciones ubicadas en el estado, y donde se realicen trabajos de análisis más precisos de la sismicidad regional, que puedan ser compartidos y avalados por el Servicio Sismológico Nacional. Divulgar los registros es de gran importancia para la investigación que contribuye en la elaboración de normas para el diseño sísmico de construcciones.

### Referencias:

- Castro R. y Nava E. (1986). Análisis de la actividad sísmica local en la zona de Laguna Verde, Ver., durante 1985. Instituto de Ingeniería, UNAM.
- Ponce L. y Suarez G. (1985). Evolution of seismicity and of the maximum earthquakes potential at the Laguna Verde nuclear power plant. Instituto de Geofísica, UNAM.
- Singh S., Rodriguez M. y Espíndola J. (1984). A Catalog of shallow earthquakes of México from 1900 to 1981. Bulletin of the seismological of America, Vol. 74, No. 1, pp. 267-279.

Código: x-

Singh S., Rodriguez M., y Esteva L.(1983). Statistics of occurrence of small earthquakes and frequency of large earthquakes along the mexican subduction zone. Bulletin of the Seismological Society of America, vol 73, no 6, pp. 1779-1796.

Suter M., Carrillo-Martinez M., y Quintero-Legorreta O. (1996). Macroseismic Study of Shallow Earthquakes in the Central and Eastern Parts of the Trans-Mexican Volcanic Belt, Mexico. Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 86, No. 6, pp. 1952-1963.

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.

Zúñiga F.R. y Wyss M. (1995). Inadvertent changes in magnitude reported in earthquake catalogs: Influence on b-value estimates. Bulletin of the Seismological Society of America, V.85, 1858-1866.

Zúñiga F.R., Shepherd J.B. y Tanner J.G. (1996). Estado del proyecto sobre riesgo sísmico en Latinoamérica y El Caribe. Memorias del Simposio Internacional sobre Riesgos Naturales e Inducidos en los Grandes Centros Urbanos de América, Latina Instituto, Italo-Latinoamericano, UNAM, CENAPRED, Quadaderni IILA, Serie Scienza 6.

Zúñiga F.R., Suárez G., Ordaz M. y García- Acosta V. (1997). Proyecto: Peligro Sísmico en Latinoamérica y el Caribe. Reporte final, Capitulo 2; Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo; Ottawa, Canadá.

Zúñiga F.R., (2008). Catálogo de la sismicidad de México, Sin publicar.

García V. y Suárez G., (1996). Los sismos en la historia de México. UNAM, Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social, Fondo de Cultura Económica, México.