

# **EL OBSERVATORIO SISMOLÓGICO Y VULCANOLÓGICO DEL CENTRO DE CIENCIAS DE LA TIERRA DE LA UNIVERSIDAD VERACRUZANA**

F. Córdoba-Montiel, K. Sieron, J. Cervantes-Pérez

Centro de Ciencias de la Tierra, Universidad Veracruzana, Veracruz, México

## **RESUMEN**

La misión del Observatorio Sismológico y Vulcanológico (OSV) del Centro de Ciencias de la Tierra de la Universidad Veracruzana (CCTUV) es contribuir a la Protección Civil en el estado de Veracruz mediante el estudio sistemático de la sismicidad y vulcanismo activo de esta entidad a través de su monitoreo permanente, evaluando el impacto en su entorno e identificando oportunamente el peligro asociado con la finalidad de informar a los encargados de generar las medidas preventivas, tomadores de decisiones y a la sociedad en general. El OSV también colabora en el desarrollo de investigación básica y aplicada, la implementación de metodologías y tecnologías de vanguardia, generación de productos académicos de valor científico, y el apoyo en procesos orientados a la comprensión de estos fenómenos geofísicos.

## **ABSTRACT**

The mission of the Seismological and Volcanological Observatory (OSV) at the Center of Earth Sciences of the Universidad Veracruzana (CCTUV) is to contribute to the Civil Protection in the state of Veracruz through the systematic study of seismicity and active volcanism of this entity by the means of constant monitoring, evaluating the impact on the environment and identifying associated hazard with the purpose of informing the responsible entities for generating preventive measures, decision makers and society in general. The OSV is also working on the development of basic and applied research, implementation of methodologies and cutting-edge technologies, generation of academic products of scientific value, and support measures aimed at understanding these geophysical phenomena.

## **INTRODUCCIÓN**

Nuestro país se encuentra inmerso en procesos tectónicos que originan la ocurrencia de sismos de diferentes magnitudes y características, que son parte de la dinámica del planeta. Uno de los procesos más importantes es el de subducción de las placas de Cocos y Rivera debajo de la Norteamericana, que es aquella donde se asienta gran parte del territorio nacional. Este proceso es el principal responsable de los sismos que ocurren en la costa del Pacífico y que ha dado lugar a temblores como el del 19 de septiembre de 1985 (*M* 8.1), el más destructivo hasta la fecha, que ha cobrado hasta la fecha el mayor número de víctimas por este tipo de fenómenos naturales. Sin embargo, es conocido que la región del Golfo de México está expuesta de manera particular a sismos que como su historia lo ha demostrado, han tenido severas repercusiones en la población y su infraestructura.

Desde el punto de vista geológico, el estado de Veracruz está expuesto a peligros naturales de diversa índole, entre los que se pueden mencionar a los originados por temblores, que históricamente y de forma recurrente han afectado a esta entidad. La magnitud de estos eventos históricos ha sido estimada a partir de las reseñas de la época en que se suscitaron. A partir de principios del siglo pasado, con la instalación de las primeras estaciones sismológicas en el país, se cuenta con datos instrumentales que aportan información de los sismos que ocurren en el territorio nacional.

Aunado a lo anterior, en Veracruz se localizan al menos dos de los volcanes activos de la República Mexicana, los cuales han tenido erupciones en tiempos geológicos recientes: el Citlatépetl o Pico de Orizaba en la zona centro del estado y el Titépetl o San Martín Tuxtla, ubicado en la región de Los Tuxtlas al sur. Dada la naturaleza de estos volcanes y su historia eruptiva, es necesaria la implementación de técnicas de monitoreo para la vigilancia de los principales parámetros asociados a una eminente actividad eruptiva. Además, en territorio veracruzano existen dos campos volcánicos activos, los cuales contienen decenas a cientos de volcanes pequeños que se asocian a erupciones del estilo del volcán Parícutín: Campo Volcánico de Xalapa (CVX) y el Campo Volcánico de Los Tuxtlas (CVLT).

## **JUSTIFICACIÓN**

Desde la época colonial hasta nuestros días es manifiesta la actividad sísmica en una gran parte del territorio del estado de Veracruz, principalmente en la zona sur. Durante el siglo XX los sismos causaron graves daños en Veracruz, tanto en pérdidas de vidas humanas, como en construcciones y obras en general. En lo particular, la zona centro-sur de la entidad reviste una importancia significativa por su infraestructura industrial, portuaria y carretera y que como es sabido, se encuentra expuesta principalmente a una sismicidad somera y otra profunda, además de condiciones geológicas específicas.

La parte central del estado aunque se le cataloga como una zona sísmica moderada, ha presentado temblores fuertes como el de Xalapa del 3 de enero de 1920 ( $M$  6.4), uno de los sismos de mayor impacto en el país, aunque relativamente poco conocido. Además de daños a las edificaciones en poblaciones de importancia como Xalapa, Teocelo, Coatepec, entre otras, este sismo fue el disparador de procesos de remoción en masa importantes a lo largo del río Huitzilapan y Pescados, provocando la generación de flujos de lodo y escombros que arrasaron con varias poblaciones a lo largo de su curso. Las pérdidas de vidas humanas fueron estimadas en varios cientos de personas.

Otro evento importante en la zona fue el de Veracruz del 21 de marzo de 1967 ( $M$  5.7) que produjo daños en aproximadamente 50 edificaciones. Este tipo de temblores superficiales ocurren con menor frecuencia que los de la zona de alta sismicidad; sin embargo, pese a su magnitud moderada, debido a lo superficial de la fuente han producido daños considerables a las ciudades cercanas, lo que hace necesario el establecimiento de un reglamento sísmico de construcción y observación permanente de este tipo de actividad. El sismo del 28 de agosto de 1973,  $M_w$  7.0 (Singh y Wyss, 1976) es el más reciente en esta región, y produjo daños considerables en las ciudades de Orizaba, Veracruz y Serdán, Puebla.

La zona sur de la entidad está considerada en la regionalización sísmica de la República Mexicana como de alta sismicidad y presenta un riesgo sísmico no cuantificado aún, dada la ocurrencia de un importante terremoto el 26 de agosto de 1959 en Jáltipan ( $M$  6.4), que destruyó totalmente la localidad y afectó a las ciudades de Minatitlán, Coatzacoalcos y Acayucan. Los fenómenos geológicos asociados a esta actividad sísmica no son aún

entendidos; sin embargo, dada la alta concentración industrial en la zona, es de vital importancia determinar estas causas y monitorear la actividad sísmica para estimar el peligro sísmico de la región. Otros eventos importantes en la región también han generado daños en el pasado.

Desde el punto de vista de vulcanológico, aquellos volcanes que han manifestado algún tipo de actividad eruptiva en los últimos 10,000 años se consideran activos (según CENAPRED) y por ende deben estudiarse desde distintos puntos de vista de distintas disciplinas. En este contexto, lo más importante es conocer la naturaleza de las erupciones anteriores y la fecha en que ocurrieron (Vulcanología).

### **Volcán Pico de Orizaba (Citlaltépetl)**

El Pico de Orizaba o Citlaltépetl, es un volcán activo en estado de reposo el cual representa la elevación más importante de México (5685 msnm); su cima está parcialmente cubierta por un glaciár en la parte norte. Este edificio se encuentra en el sector oriental de la Faja Volcánica Trans-Mexicana (FVTM) y se extiende aproximadamente en una dirección E-W a través de México (Figura 1), de 100 a 130 km del Golfo de México entre los estados de Veracruz y Puebla. Junto con los estratovolcanes Las Cumbres, La Gloria y el Cofre de Perote, el Pico de Orizaba forma una cadena volcánica en dirección perpendicular a la FVTM (casi N-S) con una actividad migrando de N a S con algunas etapas de sobrelape temporal (Siebert y Carrasco-Núñez, 2002; Concha-Dimas *et al.*, 2005).



Figura 1. Pico de Orizaba visto desde Sierra Negra Flujo de lava (probablemente emplazado en 1566, Robin y Cantagrel, 1982) en la parte frontal y del lado derecho se observan restos del volcán Torrecillas.

El Pico de Orizaba es un volcán del Cuaternario, situado sobre un basamento Mesozoico, principalmente compuesto de rocas calcáreas. La historia eruptiva del Pico de Orizaba es compleja, descrita primero por Robin y Cantagrel (1982) y detallada por Carrasco-Núñez y Hoeskuldsson (1993 y 1992 respectivamente, Tesis Doctorales no publicadas) Carrasco-Núñez y Ban (1994). Este volcán atravesó varias fases de construcción de edificios volcánicos (p.e. Hoeskuldsson *et al.*, 1990; Carrasco-Núñez *et al.*, 1991). Durante los últimos 4000 años, el volcán presentó principalmente erupciones dacíticas efusivas con solo algunos eventos explosivos moderados (Carrasco-Núñez, 1991; 1999). Las erupciones históricas involucraron actividad efusiva y explosiva durante los siglos 16 y 17 y actividad fumarólica durante los últimos 300 años (Mooser *et al.*, 1958; Waitz, 1910; Crausaz, 1994).

### **Volcán San Martín Tuxtla**

El volcán San Martín Tuxtla (18°38' N y 95°10' W, 1659 msnm) se encuentra en la costa del Golfo de México, al sur del estado de Veracruz y forma parte del Campo Volcánico Los Tuxtlas (CVLT), en el que también se encuentran edificios volcánicos inactivos Santa Marta y San Martín Pajápan, además de cientos de pequeños conos de escoria y cráteres de explosión. El cráter del San Martín es de forma aproximadamente circular con un diámetro de alrededor de 1 km y en su interior se encuentran dos pequeños conos de escoria. Los productos así como las rocas del CVLT son basálticas, entre las que destacan las basanitas, hawaitas, mugearitas y benmoreitas (Nelson y González-Caver, 1992).

Es importante el estudio en particular del volcán San Martín, ya que su actividad data desde finales del Mioceno y ha continuado hasta épocas recientes. Su última erupción tuvo lugar en 1793 durante el periodo novohispano del país. Esta erupción histórica ha sido bien documentada, por ejemplo por un reporte elaborado por Don José Moziño por encargo del virrey. El original de su reporte se encuentra en el archivo de Indias en Sevilla pero una versión fue publicada en 1870 por la Sociedad Mexicana de Geografía y Estadística (Moziño, 1870).

### **Historia eruptiva Campo Volcánico monogenético Los Tuxtlas**

Sobre el CVLT se ha suscitado de manera inmediata la pregunta sobre el origen del magmatismo en esta región. Esta interrogante no ha sido del todo respondida y aún son necesarios argumentos satisfactorios para asociarla a la subducción de la Placa de Cocos ó la tectónica del Golfo de México como ha sido propuesto (p.e. Nelson, 1995; Ferrari *et al.*, 2012). Así, la presencia del CVLT constituye también un problema de gran interés científico. El trabajo más amplio en el área ha sido el llevado a cabo por Nelson y colaboradores (Nelson y González-Caver, 1992; Nelson *et al.*, 1995), quienes fecharon sistemáticamente rocas del CVLT y a la vez determinaron sus características geoquímicas.

Existen en la literatura algunos fechamientos de erupciones de conos monogenéticos, la mayoría de ellos en la región entre el San Martín y Catemaco, que es una zona con actividad más reciente del CVLT. Todos estos fechamientos arrojaron edades menores a los 4,000 años, pero los volcanes datados hasta ahora también representan los edificios morfológicamente más jóvenes.

## **REDES DE MONITOREO**

### **Red Sísmica de Banda Ancha**

La recientemente creada Red Sísmica del estado de Veracruz (RSV) consiste en un grupo de seis estaciones de banda ancha permanentes que se encuentran instaladas a lo largo del territorio veracruzano (Figura 2) y que cumplen con los estándares de alta calidad establecidos por el Servicio Sismológico Nacional (SSN), razón por la cual se integró a la red del SSN en el marco de colaboración que existe entre el CCTUV, el Instituto de Geofísica de la UNAM a través del SSN y el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED).

La instrumentación sísmica de las estaciones de banda ancha está compuesta por el sistema de adquisición de datos y sensores de velocidad y aceleración conectados a un digitalizador de alta resolución (24 y 26 bits), en el que el estampado del tiempo se hace vía GPS. De forma paralela los datos se almacenan internamente y son transmitidos vía satélite en tiempo real a las instalaciones del SSN, desde donde son reenviados a través de internet al centro de monitoreo del CCTUV en Xalapa, Veracruz. A esta red de estaciones sísmicas de

banda ancha se añaden las de monitoreo sísmico que se localizan en los volcanes activos de Veracruz (Pico de Orizaba y San Martín) y que además de la vigilancia de estos edificios, aportan datos importantes para el estudio de los procesos tectónicos de la región.

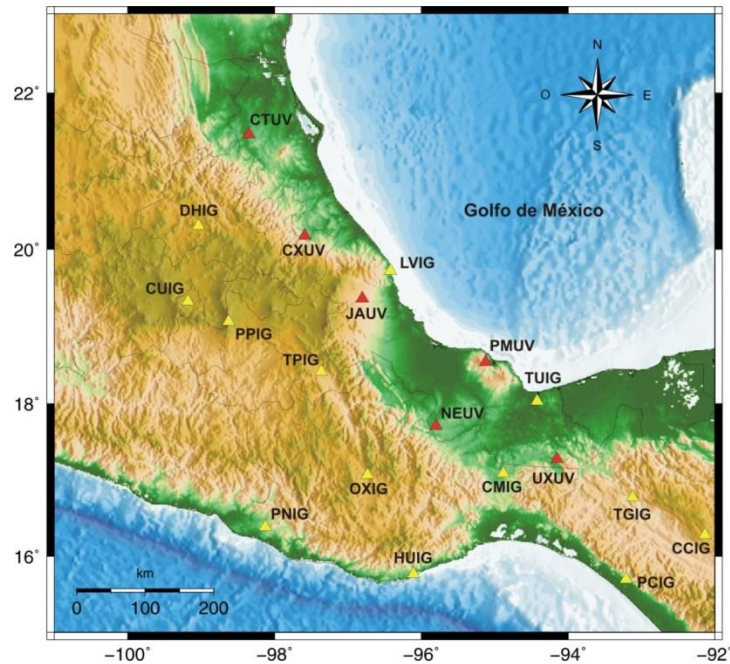


Figura 2 Mapa con la distribución de estaciones de la red sísmica de Veracruz (triángulos rojos) en el que se observa el complemento de la cobertura de la red del SSN (triángulos amarillos) en la zona del Golfo de México.

Actualmente, la RSV constituye una oportunidad para sentar las bases, que se desarrollaran en este estudio que permitirán una mejor comprensión del fenómeno sísmico en la región y en el futuro, la evaluación realista del peligro sísmico.

### Redes de Monitoreo Volcánico

La mayoría de las erupciones, tal vez todas, vienen precedidas por cambios geofísicos y/o geoquímicos en el estado del volcán, por ello es necesario establecer una vigilancia volcánica que se refiere a los estudios científicos que observan, registran y analizan sistemáticamente los cambios visibles o invisibles que ocurren en el volcán y en sus alrededores. Dichos cambios pueden ser detectados y medidos mediante redes de instrumentos y el empleo de técnicas especializadas (Tilling, 1989). La meta primaria del monitoreo sísmico es registrar, caracterizar e interpretar tal sismicidad en los pronósticos a corto plazo de las erupciones futuras o de los cambios en el curso de una erupción (Tilling,

1989). Existen varios tipos y categorías de eventos volcánicos que están asociados a procesos eruptivos, han sido identificados y clasificados en base a sus características rúbricas en el sismograma en el mecanismo de fuente inferido (p.e. Minakami, 1974; Koyanagi, 1968; Malone, 1983, etc.). Adicionalmente se han incorporado otros métodos de monitoreo para volcanes como el de deformación, geoquímico de manantiales y el visual.

Para el monitoreo del volcán Citlaltépetl, el CCTUV y el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) dieron inicio a los trabajos de instrumentación a través de la instalación de una red sísmica básica compuesta por tres estaciones con una distribución aproximadamente triangular. En marzo de 1998, se instaló la primera estación sísmica en este volcán denominada *Halcón*. En junio del 2001, se puso en marcha la estación sísmica *Chipe* y en 2004, se instaló la tercera estación analógica llamada *Halcón II* cuya instrumentación fue modernizada en enero de 2015, pero desafortunadamente fue víctima de vandalismo. En lo que respecta al San Martín, la instrumentación actual consiste en tres estaciones sísmicas de banda (PMUV, CZUV y RAUV).

## **ESTRUCTURA DEL OBSERVATORIO SISMOLÓGICO Y VULCANOLÓGICO (OSV)**

Las funciones generales del OSV del CCTUV de acuerdo con su Plan Estratégico se dividen en tres áreas específicas (Figura 3):

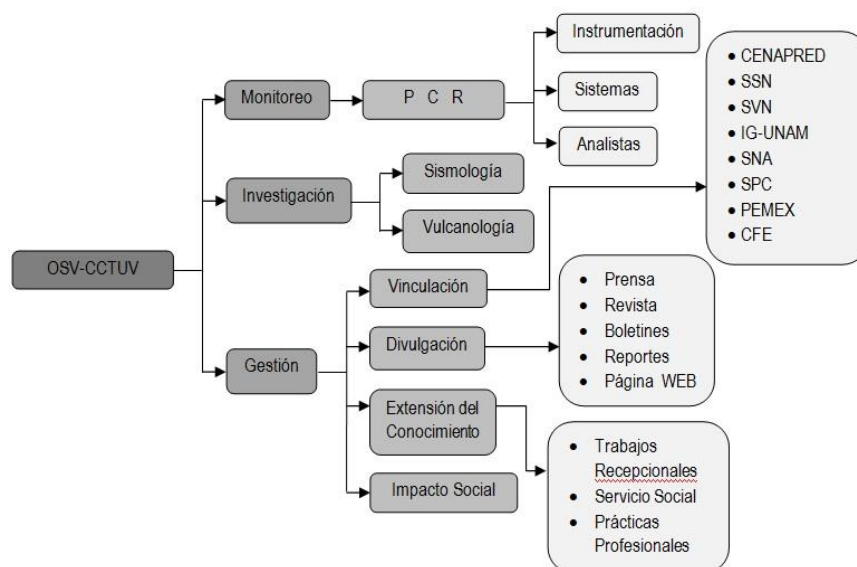
**a) Monitoreo.** Se encarga de recabar mediante técnicas instrumentales la información que se requiere para poder evaluar alguno de los fenómenos geofísicos bajo observancia. Particularmente, el Puesto Central de Registro del OSV recibe actualmente la información de las redes sísmicas para la detección de sismicidad de origen tectónico, así como para la vigilancia de los volcanes activos en el estado de Veracruz. La infraestructura en Instrumentación Sísmica actual implica el uso de sistemas de cómputo eficientes que operan las 24 horas de los 365 días del año y del trabajo de análisis de la información para las actividades rutinarias del cálculo de los parámetros de los sismos que ocurran en la región.

**b) Investigación.** Aunado a las actividades básicas del OSV en cuanto al monitoreo de las sismicidad local regional, así como de los volcanes activos, la calidad de la información



que generan las redes sísmicas y de otras variables geofísicas, complementada con el trabajo de campo y gabinete, constituyen materia prima valiosa para el fortalecimiento de las líneas institucionales del CCTUV de Sismología y Vulcanología. Esto significa que gracias a la información que se obtiene de manera continua, es posible llevar a cabo diversos estudios en la región a escala local y regional.

c) **Gestión.** En este bloque se contemplan aspectos que van desde la necesaria vinculación para el fortalecimiento del quehacer académico y la generación y aplicación de conocimiento, hasta facetas tales como su extensión y divulgación en todos los niveles de la sociedad para alcanzar con ello un alto impacto en tareas fundamentales como la prevención de desastres en beneficio de la población civil.



**Figura 3** Diagrama a bloques que ilustra la estructura organizacional del OSV-CCTUV.

De suma relevancia se considera la interacción del OSV con la sociedad por medio de su página web, para informar oportunamente sobre los fenómenos que son su objeto de estudio.

## PORTAL WEB

Recientemente dio inicio la operación del portal web del OSV (<http://www.uv.mx/osv>), una plataforma desarrollada en conjunto entre académicos del CCTUV y la Dirección General de Información (DGTI), ambas Dependencias de la Universidad Veracruzana. Este sistema está constituido por tres secciones: la primera de ellas consiste en la presentación de

información preliminar relacionada con los fenómenos que se abordan dentro de las líneas de investigación de Sismología y Vulcanología del CCTUV, con la finalidad informar objetiva y oportunamente acerca de los fenómenos que son su objeto de estudio e incluye la realización de un E-book de divulgación elaborados por este grupo de la Universidad Veracruzana.

La segunda sección proporciona información del quehacer académico de las líneas de Investigación antes mencionadas y que tienen como antecedente los fenómenos históricos de esa índole en la región del Golfo de México, su monitoreo actual y la presentación de algunos resultados mediante sistemas informáticos de administración de bases de datos y mapas.

En el caso de Sismología, se presentan detalles de la Red Sísmica de Veracruz (RSV), la visualización de sismogramas, catálogos de sismicidad y mapas que se realizan a partir de la información que genera el SSN y algunos análisis realizados en el CCTUV.

En la sección de Vulcanología, se aborda el vulcanismo activo presente en la entidad veracruzana, representado por los volcanes el Pico de Orizaba y San Martín Tuxtla, además de los dos campos volcánicos de la región: Xalapa-Naolinco y Los Tuxtlas. Se incorpora el acceso a mapas de susceptibilidad y peligro volcánico y la representación animada de escenarios eruptivos y simulaciones, administrados desde la plataforma desarrollada por la DGTI.

En esta misma sección, ambas líneas describen aspectos académicos relacionados con la generación de reportes e informes técnicos; información de los proyectos vigentes y las actividades de divulgación y extensión del conocimiento, fundamentales en el quehacer universitario. Finalmente, la tercera sección tiene la finalidad de sugerir algunos recursos digitales y ligas de interés para los usuarios que así lo requieran.

## **PERSPECTIVAS A FUTURO**

El reto que debe enfrentar en consecuencia el OSV es ampliar la infraestructura actual de las redes que hoy están en operación, pero que sin lugar a dudas tendrán que experimentar un crecimiento paulatino para que en el caso de los sismos de origen tectónico, detectar y conocer con mayor detalle la sismicidad base, sus implicaciones y el peligro sísmico que representa; y en lo que respecta a los volcanes activos y campos volcánicos de la región, implementar diversas técnicas de monitoreo alternas que complementen a la sísmica y que permitan desarrollar sistemas de alerta temprana para beneficio de la población expuesta. La vinculación con otras Instituciones de Educación Superior como la UNAM y las instancias de gobierno en el ámbito federal (CENAPRED) y estatal (Secretaría de Protección Civil) constituyen el medio de impacto en la población mediante el desarrollo de esquemas articulados para la prevención de desastres.

## REFERENCIAS

- Carrasco-Núñez, G., 1991. Lava flow growth inferred from morphometric parameters: a case study of Citlaltépetl volcano, Mexico. En: *Geol. Magazine* 134, 2, 151-162.
- Carrasco-Núñez, 1993 Tesis, Structure, eruptive history, and some major hazardous events of Citlaltépetl volcano (Pico de Orizaba), México. En: *Michigan Technological University*. PhD thesis, pp. 181.
- Carrasco-Núñez, G. y Ban, M., 1994. Geologic map and structure sections of the Summit area of Citlaltépetl volcano, Mexico. *Serie de cartas geológicas y mineras no 9*, Inst. de Geología, UNAM, México.
- Carrasco-Núñez, G., 1999. Holocene block-and-ash flows from summit dome activity of Citlaltépetl volcano, Eastern Mexico. *JVGR*, 88, 47-66.
- Concha-Dimas A., Cerca M., Rodríguez S., Watters R., 2005. Geomorphological evidence of the influence of pre-volcanic basement structure on emplacement and deformation of volcanic edifices at the Cofre de Perote-Pico de Orizaba chain and implications for avalanche generation. *Geomorphology*, 72, 19–39.
- Crausaz, W., 1994. Pico de Orizaba o Citlaltépetl: Geology, archaeology, history, natural history and mountaineering routes. *Geopress International*, Ohio, USA.

- Ferrari, L., Orozco-Esquivel, T., Manea, V., Manea, M., 2012. The dynamic history of the Trans-Mexican Volcanic Belt and the Mexico subduction zone. *Tectonophysics*, 522-523, 122-149.
- Hoeskuldsson, A., 1992. Le complexe volcanique Pico de Orizaba-Sierra Negra-Cerro de las cumbres (sud-est mexicain); Structure, Dymamismes eruptifs et evolutions del area: Clermont-Ferrand, Francia. En: *Université Blaise Pascal*. Tesis Doctoral, pp. 220.
- Hoskuldsson, A., Robin, C, Cantagrel, J.M., 1990. Repetitive debris avalanche events at volcano Pico de Orizaba, Mexico. *IAVEI International Volcanological Congress*, Mainz (abstract), 47.
- Koyanagi, R.Y., 1968. Hawaiian seismic events during 1965: U.S. Geol. Survey Prof. Paper 600-B, p. 95-98.
- Malone, S.D., 1983. Volcanic earthquakes: examples from Mount St. Helens, En: Earthquakes: Observation, Theory and Interpretation, LXXXV Corso, Soc. Italiana di Fisica, Bologna, Italy, P. 436-455.
- Minakami T., 1994. Seismology of volcanoes in Japan, in Physical volcanology, edited by L. Civetta, P. Gasparini, G. Luongo, and A. Rapolla, *Elsevier Scientific Publishing Company*, pp. 1-27, Amsterdam, The Netherlands.
- Mooser F., Meyer-Abich H., McBimey A.R., 1958. Catalogue of the active volcanoes of the world including solftara fields. Part VI Central America. En: *Napoli International Volcanology Asociation*. pp 1-3.
- Moziño J.M., 1870. Informe sobre la erupción del Volcán de San Martín Tuxtla (Veracruz) ocurrida el año de 1793. *Boletín Soc. Mex. Geograf. Estad.* II: 62-72.
- Nelson, S.A. y González-Caver, E., 1992. Geology and K-Ar dating of the Tuxtla Volcanic Field, Veracruz, Mexico. *Bull. Volcanol.*, v. 55, p. 85-96.
- Nelson, S.A., González-Caver, E., Kyser, T.K. (1995): Constraints on the origin of alkaline and calc-alkaline magmas from the Tuxtla Volcanic Field, Veracruz, Mexico. *Contrib. Mineral. Petrol.*, v. 122, p. 191-211.
- Robin C. y Cantagrel J.M., 1982. Le Pico de Orizaba (Mexique): Structure et evolution d'un gran volcán andésitique complex. En: *Bolletín of Vulcanology*. pp 45, 299-315.

Siebert y Carrasco-Núñez, 2002. Late Pleistocene to precolumbian behind-the-arc mafic volcanism in the Eastern Mexican Volcanic Belt; implication for future hazards. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 115, 179-205.

Singh, S.K., Wyss, M. (1976), Source parameters of the Orizaba earthquake of August 28, 1973, *Geofis. Int.* 16, 165-184.

Tilling, R.I., ed., 1989. Volcanics hazards: Washington. D.C., American Geophysical Union, Short Course in Geology, v. 1, 123 p.

Waitz P., 1910. Observaciones geológicas acerca del Pico de Orizaba. En: *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*. Tomo VII., pp 67.