



Título del artículo.

Precursores de terremotos en las brechas sísmicas de Acapulco, Guerrero, México

Título del artículo en idioma Inglés.

Precursors of earthquakes in the seismic breccias of Acapulco, Guerrero, Mexico.

Autores.

Alejandro H. Ramírez Guzmán, Oscar Talavera Mendoza, Elvia Díaz Villaseñor, Luis Fernando Ocampo Marín

Referencia bibliográfica:

MLA

Ramírez Guzmán, Alejandro H., Oscar Talavera Mendoza, Elvia Díaz Villaseñor, Luis Fernando Ocampo Marín. "Precursores de terremotos en las brechas sísmicas de Acapulco, Guerrero, México". *Tlamati* 7.2 (2016): 55-59. Print.

APA

Ramírez Guzmán, A. H., Talavera Mendoza, O. y Díaz Villaseñor, E. (2016). Precursores de terremotos en las brechas sísmicas de Acapulco, Guerrero, México. *Tlamati*, 7(2), 55-59.

ISSN: 2007-2066.

Publicado el 30 de Junio del 2016

© 2016 Universidad Autónoma de Guerrero

Dirección General de Posgrado e Investigación

Dirección de Investigación

TLAMATI, es una publicación trimestral de la Dirección de Investigación de la Universidad Autónoma de Guerrero. El contenido de los artículos es responsabilidad exclusiva de los autores y no refleja de manera alguna el punto de vista de la Dirección de Investigación de la UAGro. Se autoriza la reproducción total o parcial de los artículos previa cita de nuestra publicación.



Precursores de terremotos en las brechas sísmicas de Acapulco, Guerrero, México

Alejandro H. Ramírez Guzmán^{1*}
 Oscar Talavera Mendoza¹
 Elvia Díaz Villaseñor¹

¹ Universidad Autónoma de Guerrero. Unidad Académica de Ciencias de la Tierra. Ex-hacienda San Juan Bautista. AP. 197. C. P. 40323. Taxco el Viejo, Guerrero, México

*Autor de correspondencia
halessandro2@hotmail.com

Resumen

La parte central del Estado de Guerrero en la Costa del Pacífico de México, está caracterizada por la actividad sísmica relacionada con la subducción de la Placa de Cocos bajo la Placa de Norteamérica. En esta zona se escogieron cuatro grupos de manantiales para el estudio de variaciones de la composición iónica e isotópica, relacionadas con sismos ocurridos en la región. Se hicieron análisis químicos e isotópicos en cuatro manantiales de en la costa del Estado de Guerrero cerca de Puerto de Acapulco. El monitoreo "hidro-sísmico" se realizó durante 75 semanas (1.5 años). Durante este período ocurrieron en las cercanías de Acapulco 119 sismos con $3.8 \leq M \leq 5.3$. Los datos de monitoreo muestran anomalías en dos manantiales en Cl , SO_4 , δD y $\delta^{18}O$, que exceden 2σ de la serie de datos y la precisión del método con picos positivos, generados ante la ocurrencia de sismos, cuyas localizaciones epicentrales son cercanas a la localización del manantial. Se demuestra que dos manantiales son sensibles a la actividad sísmica y podrían ser utilizados en futuro para el estudio de precursores hidrogeoquímicos de sismos de gran magnitud, con epicentros cercanos a Acapulco. Los cambios de concentración de aniones mayores son soportados por el cambio isotópico de deuterio y oxígeno -18 en las mismas muestras, lo evidencia que los estados de esfuerzos sísmicos provocan la mezcla de acuíferos y por lo tanto cambios que pueden utilizarse como precursores sísmicos.

Palabras clave: composición iónica, composición isotópica, gap sísmico, manantiales termales, precursores hidro-sísmicos

Abstract

Central area of the State of Guerrero at the Pacific Coast of Mexico is characterized by seismic activity related to subduction of the Cocos Plate, under the North American Plate. In this zone, four groups of springs were chosen for the study of variations of the ionic and isotopic composition, related to earthquakes occurred in the region. Chemical and isotopic analyzes were performed at four springs at the coast of the State of Guerrero near Acapulco Port. The "hydro-seismic" monitoring was performed across 75 weeks (1.5 years). On this period 119 earthquakes with $3.8 \leq M \leq 5.3$ occurred in the vicinity of Acapulco. The monitoring data show anomalies in two sources in Cl , SO_4 , δD and $\delta^{18}O$, exceeding 2σ of the data series and the accuracy of the method with positive peaks, generated in the presence of earthquakes, whose epicentral locations are close to the location Of the spring. It is shown that two springs are sensitive to seismic activity and could be used in the future for the study of hydrogeochemical precursors of earthquakes of great magnitude, with epicenters near Acapulco.

Como citar el artículo:

Ramírez Guzmán, A. H., Talavera Mendoza, O. y Díaz Villaseñor, E. (2016). Precursores de terremotos en las brechas sísmicas de Acapulco, Guerrero, México. *Tlamati*, 7(2), 55-59.

The changes in concentration of major anions are supported by the isotopic change of deuterium and oxygen -18 in the same samples, evidence that the states of seismic stresses cause the mixing of aquifers and therefore changes that can be used as seismic precursors. Keywords: ionic composition, isotopic composition, seismic gap, thermal springs, hydro-seismic precursors .

Keywords: Ionic composition, isotopic composition, seismic gap, thermal springs, hydro-seismic precursors

Introducción

La Tierra está dividida en 12 grandes porciones litosféricas denominadas Placas Tectónicas, las cuales se mueven lentamente con direcciones relativas entre sí. Los esfuerzos acumulados entre los límites de las placas dan origen a fallas geológicas relacionadas con la geografía de los terremotos, que son causados por el desplazamiento repentino de las placas, que generan ondas mecánicas (sísmicas) que se desplazan a través de las rocas, transmitiendo el movimiento sísmico a grandes distancias del epicentro.

El viaje de las ondas sísmicas se atenúa con la distancia; sin embargo, en algunas cuencas rellenas con sedimentos sin consolidar, la amplificación de las ondas causa daños a las obras civiles localizadas a cientos de kilómetros de donde se origina el sismo.

Antes de que un sismo ocurra, se generan cambios físicos progresivos que tienen lugar en un largo periodo de tiempo, conocido como etapa de preparación y/o nucleación. Estos cambios en los patrones de esfuerzos están

acompañados por cambios físicos y químicos de la Tierra; por lo tanto, los precusores sísmicos son señales anómalas de cambios geológicos que ocurren antes un gran sismo (Terremoto).

Diariamente en los límites de fallas se generan cientos de sismos, los cuales en su mayoría son menores a 4 grados de magnitud Mw. Este movimiento es imperceptible para los humanos; sin embargo, los equipos diseñados para medir y localizar dichos eventos (Sismógrafos) registran la sismicidad denominada de fondo.

Los llamados “gaps sísmicos” o “brechas sísmicas” son regiones litosféricas, donde los tiempos de recurrencia de grandes sismos no se conoce con precisión; sin embargo, la ocurrencia de grandes sismos tiene lugar en esa zona litosférica.

El gap de Guerrero se localiza al noroccidente de Acapulco y presenta el potencial sísmico más alto de toda la república mexicana. El último sismo de gran magnitud ocurrió en 1911, con magnitud Mw 7.9 (Singh y Mortera,

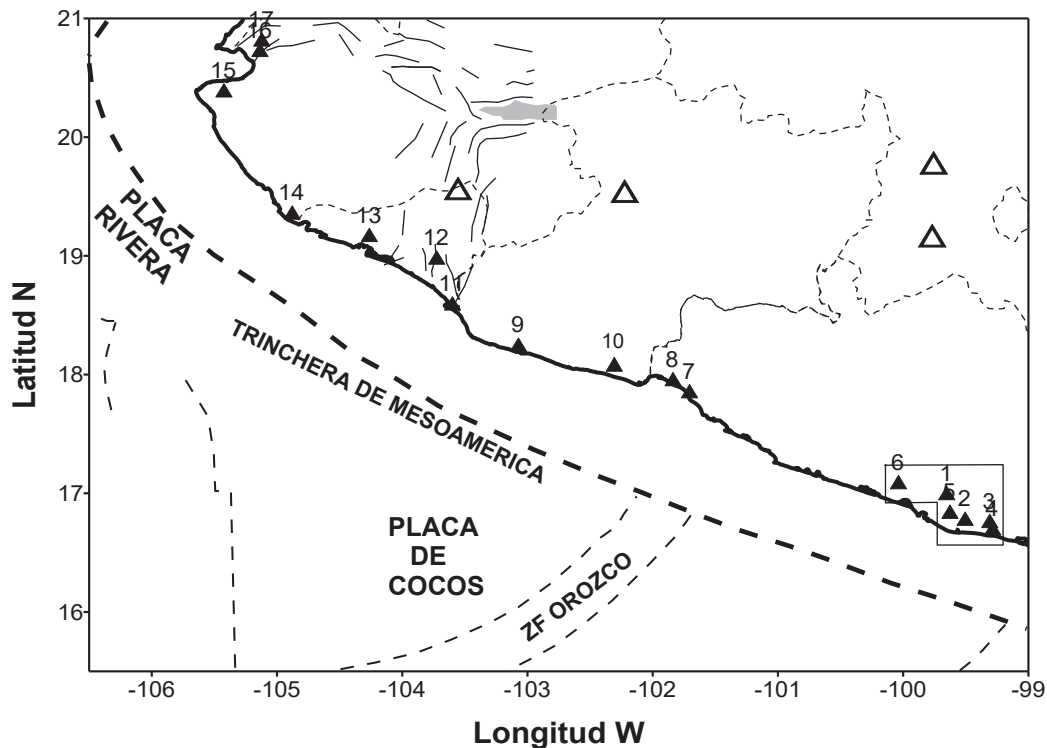


Figura 1. Manantiales termales de la costa del Pacífico de México. Los triángulos menores rellenos representan manantiales termales. Los manantiales 1, 2, 3, 4, 5 y 6 son los manantiales relacionados con las brechas sísmicas de Acapulco (1, 2, 3, 4, 5). El manantial 6 se encuentra dentro de la brecha sísmica de Guerrero

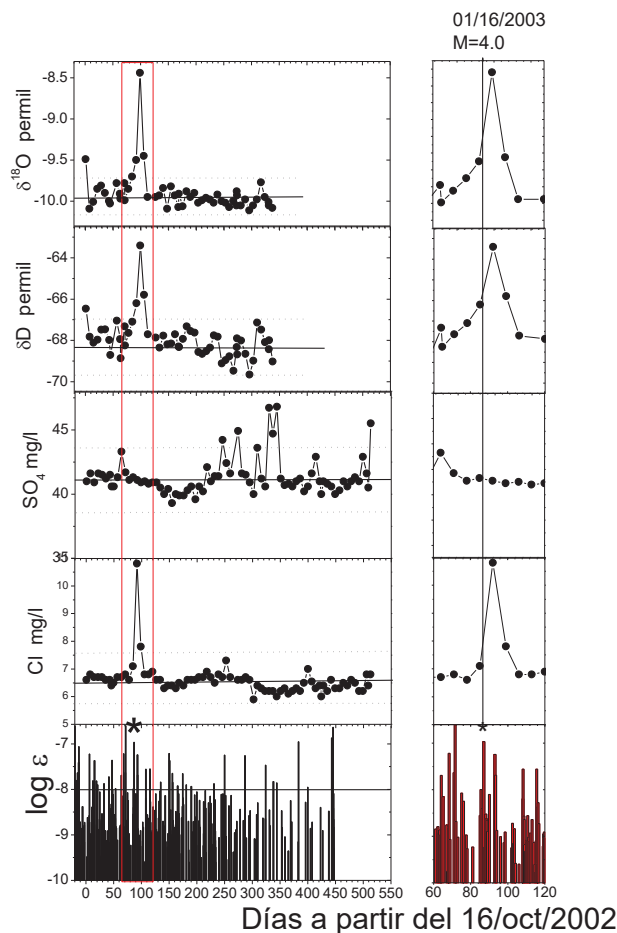


Figura 2. Series de tiempo de Cl , SO_4 , δD , $\delta^{18}O$ para el Manantial Dos Arroyos. La línea continua representa la media aritmética, mientras que la línea punteada es el intervalo 2σ .

1982; Nishenko y Singh 1987). Otra zona con alto potencial de ruptura es la Brecha sísmica de Acapulco, en donde uno de los sismos más fuertes registrados ocurrió el 28 de julio de 1957, con magnitud $M_b=7.6$. Este sismo fue el último evento de gran magnitud ocurrido en esta área. Dos sismos ocurrieron en 1962 y en 1989 sin que la energía liberada fuera suficiente para llenar la brecha sísmica de Acapulco.

Entre las técnicas usadas por las investigaciones de precursores sísmicos se encuentra la geoquímica de fluidos la cual ha proporcionado señales de alta calidad. Toutain y Baubron (1997) reportan anomalías de ion cloruro 5 días antes de la ocurrencia de un sismo de $M_L = 5.2$, ocurrido en la parte este de los Pirineos en Francia; esta anomalía se extendió de 10 a 13 días después del sismo. Las anomalías del ion cloruro se caracterizaron por concentraciones superiores al 36 % con respecto a los valores de fondo registrados en el área. Este precursor químico fue atribuido a los cambios de esfuerzo presísmico, el cual indujo la mezcla hidrogeoquímica de diferentes acuíferos. Otra técnica utilizada es la de ultra-trazas e isotopos de plomo utilizada por Poitrasson, Dundas, Toutain, Munoz y Rigo (1999) y evi-

enció para este mismo sismo, que la anomalía de plomo fue 10 veces más elevada con respecto a los valores de fondo y 30 veces más intensas que la anomalías del ion cloruro.

En el terremoto Kobe en Japón se observaron concentraciones anómalas en iones de cloruro y sulfatos en el agua subterránea localizados en dos pozos cercanos al epicentro del terremoto (Tsunogai y Wakita 1995). Las concentraciones de estos iones aumentaron por encima del valor de fondo; también se observó un incremento inusual en la descarga dos meses antes del sismo principal.

Las dos brechas sísmicas: la de Acapulco y la del Guerrero tienen una longitud aproximada de 230 km; sí, este segmento se rompiera completamente, el sismo podría alcanzar una magnitud de $M_w \sim 8.2-8.4$ (Singh and Mortera, 1991).

En la región donde se encuentran las brechas sísmicas de Guerrero y Acapulco, se localizan manantiales 6 grupos de manantiales (véase figura 1) termales ($37-42^\circ C$) con baja salinidad (< 350 mg/l) y pHs alcalinos (9.5-10). Los gases presentes en burbujas son casi 100% nitrógeno y presentan altas concentraciones de He enriquecido con Helio radiogénico. La actividad hidrotermal se relaciona con aguas meteóricas de baja temperatura, producidas por el calentamiento en su descenso a través de fracturas profundas con relación agua/roca alta (Ramírez-Guzmán, Taran, Bernard, Cienfuegos y Morales, 2005).

Los manantiales termales de la costa de Guerrero se han utilizado para observar las variaciones geoquímicas relacionadas con los sismos que ocurren en la región. Taran, Ramirez-Guzman, Bernard, Cienfuegos y Morales (2005) realizaron análisis químicos e isotópicos en cuatro manantiales de en la costa del Estado de Guerrero, cerca de Puerto de Acapulco (véase figura 1). El monitoreo "hidrosísmico" se realizó durante 75 semanas (1.5 años 2003-2004). Durante este período ocurrieron en las cercanías de Acapulco 119 sismos con $3.8 \leq M \leq 5.3$. En la figura 1 se pueden observar los datos de monitoreo que muestran anomalías solamente en dos manantiales: Dos Arroyos al Norte de Acapulco (manantial 1) y Paso Real al Norte de Coyuca de Benítez (manantial 6)

Metodología

Las muestras fueron analizadas en el laboratorio de química analítica del Instituto de Geofísica de la UNAM. Los análisis de iones Cl , SO_4 del monitoreo continuo semanal fueron realizados usando un sistema de cromatografía iónica con un equipo Metrohm 750, la concentración de HCO_3 fue analizada por medio de titulación con 0,05 N de HCl . El Na y K fueron analizados por espectrometría de flama, mientras que el Ca y Mg por espectroscopia de absorción atómica. La composición isotópica se realizó por el personal del Laboratorio de Espectrometría de Isótopos Estables del Instituto de Geología de la UNAM y fue determinada usando un equipo Finnigan Delta Plus XL con analizador de elemento termo químico (TC/EA) y automuestreador GC PAL.

De los seis grupos de manantiales localizados en la parte sureste del estado de Guerrero se realizó el monitoreo semanal a los manantiales Coacoyul, Tamarindo, Dos Arroyos y Paso Real. En los cuatro sitios de muestreo se contactó con personas que vivieran cerca de los manantia-

les, pagándoles la recolección con la finalidad de que exista un seguimiento por parte de los operadores. Se acordó recolectar dos botellas de agua el día miércoles de cada semana, si no fuera posible recolectar el día indicado se procedería a tomar la muestra un día antes o un día después, anotando en una libreta el día que no fue posible tomar las muestras. La recolección de muestras se llevó a cabo de octubre de 2002 a marzo de 2004, el horario establecido es de 10 a 11 a.m. Se dejaron suficientes botellas etiquetadas con la fecha y nombre de la estación (aniones). Las botellas fueron prelavadas con ácido nítrico y enjuagadas abundantemente con agua destilada. El volumen de cada muestra fue de 125 ml.

Resultados y Discusión

Los datos de monitoreo muestran anomalías en los manantiales Dos Arroyos y Paso Real (manantiales 1 y 6); en Cl , SO_4 , δD y $\delta^{18}O$, que exceden 2σ de la serie de datos y la precisión del método con picos positivos (véase la figura 1).

Las anomalías en la composición del agua de los manantiales Dos Arroyos y Paso Real, no están relacionadas entre sí; ni con los manantiales Coacoyul y Tamarindo, debido a que las respuestas de los iones ante los sismos no se observan en todos los manantiales a pesar de su cercanía. Posiblemente un componente de agua que se mezcla proviene del la parte más profunda y que interactúa con los flujos que alimentan a cada manantial en particular. Esta observación apoya que la mezcla fue provocada por la ocurrencia de un sismo con localización epicentral similar a la localización de los manantiales.

Cinco sismos con magnitud $M \sim 4$ ocurrieron en un radio de 10 km a partir del manantial Dos Arroyos y únicamente la localización epicentral de uno de los sismos (11 de enero de 2003) coincide con la anomalía hidroquímica registrada el 15 de enero de 2003.

La anomalía registrada en el Manantial Dos Arroyos es significativa, ya que la concentración del cloruro se incrementa el 62 % con respecto del nivel base, el día 15 de enero de 2003 (véase figura 2). En el ión sulfato también presenta respuesta similar, sin embargo no rebasó la desviación 2σ de los datos.

El enriquecimiento de isótopos pesados en el Manantial Dos Arroyos coincide con el incremento de las concentraciones del ión cloruro para el día 15 de enero de 2003. La anomalía también fue identificada en el deuterio con un cambio del -7 ‰, variando del promedio de $\delta D = -68.0 \pm 1‰$ a $\delta D = -63.4 ‰$. Para el oxígeno 18 la variación fue de -1.5 ‰ del promedio de $\delta^{18}O = -9.9 \pm 0.2 ‰$ a $\delta^{18}O = -8.5 ‰$. El tiempo en el que se recupera el nivel base de iones e isótopos en el Manantial Dos Arroyos es de tres semanas (véase figura 2).

Dos sismos con $M = 3.7$ y $M = 4$, que ocurrieron el 11 y 16 de enero de 2003 tuvieron profundidades de 26 y 18 km, con coordenadas epicentrales cercanas al manantial Dos Arroyos. Estos sismos fueron los únicos que ocurrieron en este mes con distancias epicentrales < 10 km al Manantial Dos Arroyos.

Si consideramos los cambios químicos ocurridos en el Manantial Dos Arroyos que se registraron el 15 de enero del 2003, cuyo sismo ocurrió el 11 de enero del mismo año, así como la unidad de muestreo (1 semana), no se

puede distinguir si la anomalía ocurrió simultáneamente con el sismo o si los cambios fueron 1, 2, 3 y/o 4 días después de la ocurrencia del mismo. Con la unidad del tiempo del muestreo solamente se puede decir que los manantiales son sensibles a sismos con magnitud 4 y distancias hipocentrales de < 10 km.

Para el Manantial Paso Real, ocurrieron seis sismos con magnitud $M \sim 4$, en un radio de 10 km y únicamente la localización epicentral de uno de los sismos (18 de septiembre de 2003) coincide con la anomalía hidroquímica registrada el 22 de septiembre de 2003.

La anomalía química fue registrada en el Manantial Paso Real en el ión sulfato, incrementándose 16 % con respecto a la media aritmética; en el ión cloruro también se registra un incremento del 9 %, el día 22 de septiembre de 2003. Para este mismo día se registró variación de 2 % en $\delta^{18}O$ con respecto al valor medio de los datos. En el deuterio la variación no rebasó 2σ del total de las muestras; pero presentó una tendencia de incremento similar a las anomalías registradas en los iones cloruro, sulfatos y oxígeno 18.

La mayoría de los sismos ocurridos en las inmediaciones del Manantial Paso Real son someros y algunos presentan distancias epicentrales < 30 km, con $M \sim 4$. En las inmediaciones del Manantial Paso Real ocurrieron solamente 6 sismos con distancias de 10 ± 5 km. Los cambios en su composición química registrada en el Manantial Paso Real el día 22 de septiembre de 2003, pueden relacionarse con la ocurrencia de un sismo de subducción de $M = 4.1$ (17.05 N; 100.02 W), ocurrido el 18 de septiembre de 2003 a 10 ± 5 km del manantial (17.08 N; 100.06 W), con hipocentro de ~ 18 km de profundidad.

Se esperaría que el comportamiento de las anomalías en los distintos manantiales fuera similar ante la ocurrencia de un sismo; sin embargo, esto no fue observado. En el Manantial Dos Arroyos se identificaron anomalías simultáneas de Cl , δD y $\delta^{18}O$; mientras que en el Manantial Paso Real se identificaron anomalías en SO_4 y en Cl , sin que en los isótopos estables se observara variación significativa.

Se evidencia que el sitio con mayor potencial para el estudio de señales hidro-sismológicas es el Manantial Dos Arroyos, debido a la estabilidad de los resultados registrados en los iones cloruro y sulfato así como en los isótopos δD y $\delta^{18}O$. Con base en los datos obtenidos, se evidencia que la unidad de tiempo utilizada para el monitoreo hidro-sismico podría no ser la adecuada para la observación de cambios en la escala de una semana, así mismo, se evidencia que existen cambios de aniones lo cual puede ser una forma económica y rápida para monitorear los cambios químicos inducidos por los movimientos tectónicos. Sin embargo, deben reconocerse las características hidrosísmicas con la finalidad de establecer valores de fondo para tener parámetros comparativos del comportamiento geológico presísmico, co-sísmico y post-sísmico.

Agradecimientos

El estudio fue financiado por Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, [CONACYT]. Proyecto de investigación No. 0057866.

Referencias

Nishenko, S.P. y Singh, S.K. (1987). Conditional probabilities for recurrence of large and great interplate earth-

- quakes along the Mexican Subduction Zone. *Bulletin of the Seismological Society of America*. 77, 2095 - 2114.
- Poitrason F., S. Dundas, J. Toutine., M. Munoz. y A Rigo. (1999) Earthquake-related elemental and isotopic lead anomaly in a springwater, *Earth and Planetary Science Letters*. 169, 269-276.
- Ramírez-Guzmán A., Taran Y., Bernard R., Cienfuegos E., Morales Pedro. (2005). Variations in the Cl SO₄ dD and d18O in water from thermal springs near Acapulco, Guerrero, Mexico, related to seismic activity. *Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences, TAO*. 16(4), 731-743
- Singh, S. K., Mortera, F. 1991. Source time functions of large Mexican Subduction Earthquakes, morphology of the Benioff Zone, age of the plate and their Tectonic Implications. *Journal of Geophysical Research*. 96, 21487-21502
- Taran Y. A., A. Ramirez-Guzman, R. Bernard, E. Cienfuegos, P. Morales (2005), Seismic-related variations in the chemical and isotopic composition of thermal springs near Acapulco, Guerrero, Mexico. *Journal of Geophysical Research*. 32, 14317.
- Toutain, J. P. y Baubron J.C. (1999). Gas geochemistry and seismotectonics: a review. *Tectonophysics*. 304, 1-27.
- Tsunogai, U. y Wakita H. (1995). Precursory chemical-change in ground water: Kobe earthquake Japan, *Science*, 269, 61-63.