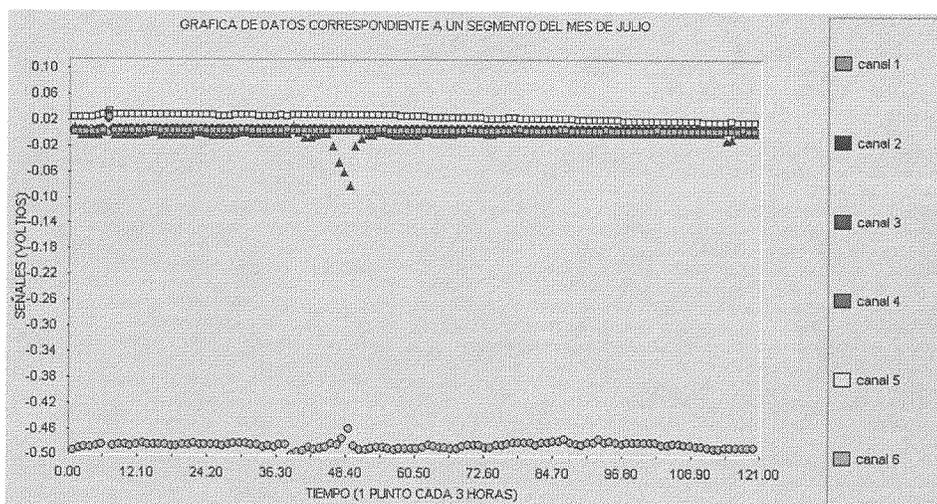


MONITOREO GEOFISICO DEL VOLCAN PACAYA

Durante julio y agosto el volcán Pacaya mostró este tipo de actividad en forma aleatoria. La siguiente gráfica muestra una señal en forma de pico triangular que se puede atribuir a este tipo de actividad. Sin embargo no se puede descartar que sea un efecto relacionado con actividad telúrica en el volcán que involucre movimiento de magma y sismicidad a varios kilómetros de profundidad



Gráfica # 4 continuación de datos correspondientes a un segmento del mes de julio que abarca las primeras 3 semanas. Acá se observa una señal de forma triangular, la cual puede ser relacionada con la actividad freática del volcán.

RADON:

Así como en el caso de las señales electro-telúricas, en el caso del radón también se detectó una señal, la cual precedió a la erupción del 29 de febrero del año 2,000 por una semana. Para el monitoreo de radón se utilizaron películas acrílicas, dado que las sondas aun no estaban en Guatemala cuando se presentaron las erupciones de enero y febrero de ese año.

En la gráfica # 5 se presentan los datos recabados para El Patrocinio Tomando en cuenta que la erupción se presentó el 29 de febrero, se concluye que se genera una señal al menos una semana antes de una erupción de esta magnitud.

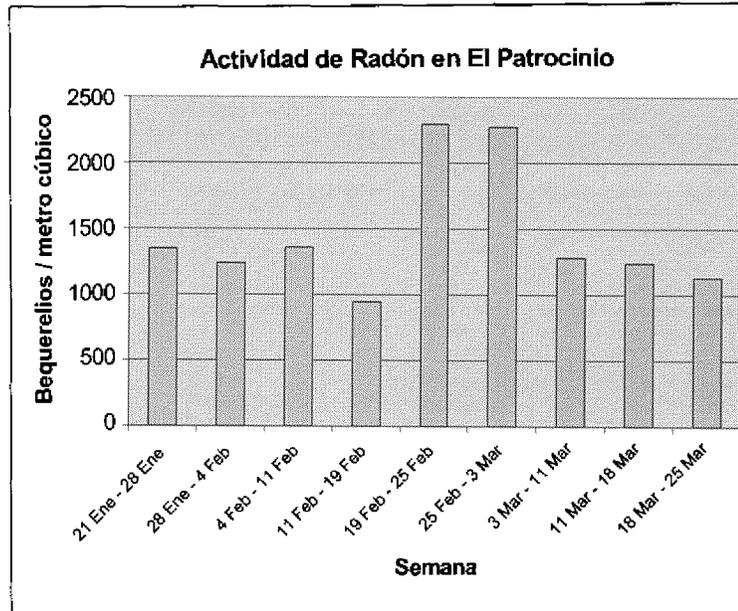
En este caso la señal tiene una duración de dos semanas. Lamentablemente, los problemas de vandalismo impidieron una corroboración de las señales de radón detectadas en el otro sitio de monitoreo, El Rodeo, el cual se encuentra más cerca del cono activo.

Analizando la gráfica # 5 es fácil concluir que la señal observada en febrero y marzo del 2,000 no puede ser atribuible a fenómenos atmosféricos dado que no se presenta lluvia en esos meses. Además, la magnitud de la señal detectada en febrero y marzo, del orden de $2,400 \text{ Bq/m}^3$, está muy por encima de la media de $1,200 \text{ Bq/m}^3$ y de la desviación estándar de 300 Bq/m^3 con respecto a los datos de 1,996.

MONITOREO GEOFISICO DEL VOLCAN PACAYA

Este análisis permite asentar una mejor confiabilidad a los resultados obtenidos con radón y su relación con actividad eruptiva, fortaleciendo la hipótesis de que durante una erupción magmática se debe presentar una emanación abrupta de radón que acompaña a la erupción.

Gráfica # 5: señales de radón detectadas desde enero hasta marzo del año 2,000. La erupción se produjo el 29 de febrero. Nótese el aumento en la



actividad del radón durante este período.

CONCLUSIONES

Como se mencionó en la introducción, el objetivo de esta investigación ha sido el diseño, la construcción y la implementación de equipo de monitoreo de la actividad del volcán Pacaya usando técnicas geofísica distintas a las convencionales de sismología y geoquímica.

El monitoreo de las distintas facetas del volcán Pacaya está aun en su infancia, dado que no se cuenta con un observatorio adecuadamente instrumentado. Por tal motivo, es de suma importancia consolidar la implementación de tal observatorio mediante investigaciones de este tipo, en las cuales se analiza la efectividad de distintas técnicas de monitoreo para el seguimiento de la actividad de dicho volcán. A continuación se presentan conclusiones relacionadas con esta investigación.

1. Este proyecto ha demostrado que es posible desarrollar una infraestructura de sensores geofísicos que detecten actividades pre-eruptivas de tipo nuclear (gas radón), así como de tipo electro-telúrico y magneto-telúrico. En este caso ha sido posible integrar tecnología de cómputo relativamente simple, así como tecnología electrónica y mecánica manufacturada en Guatemala para llevar a cabo este tipo de monitoreo.
2. En lo que respecta a esta investigación en particular, durante el período de monitoreo se presentó una fuerte erupción magmática, así como pequeñas erupciones freáticas, las cuales pusieron de manifiesto que la técnica puede ser empleada para dar seguimiento a este tipo de actividades. Sin embargo, es necesario reconocer que un solo evento magmático no puede tomarse como base para reconocer que dicha técnica sea infalible. Estadísticamente se debe tener más experiencias que

MONITOREO GEOFISICO DEL VOLCAN PACAYA

una sola para demostrar la efectividad de esta técnica para la determinación de señales precursoras, dado que solo se cuenta con un evento de erupción magmática

3. En lo que respecta al monitoreo magnético, los resultados que se tienen a la fecha en las estaciones Patrocinio y San Lucas indican que este tipo de monitoreo no ha rendido los frutos esperados con relación a la detección de señales precursoras. Aunque no se descarta la existencia de señales magnéticas asociadas a flujos de magma en ascenso, es probable que dichas señales sean de una magnitud por debajo de los umbrales de medición de los sistemas empleados en esta investigación, o bien, se presenten solamente muy cerca del flujo ascendente, lo que requeriría de la instalación del sistema de monitoreo muy cerca del cono.
4. En el caso del radón se tuvo dos experiencias: una exitosa al haber detectado una señal precursora la cual se puede asociar a la erupción magmática. Esta señal confirma la hipótesis presentada por R. García [17] con relación a picos relacionados con una erupción magmática. En contraste a esta experiencia positiva, una experiencia negativa se presentó al tratar de llevar a cabo un monitoreo en zonas rurales cercanas al cono, en específico en la zona de El Rodeo. En este sitio por segunda vez la sonda de monitoreo de radón fue removida, ya sea por la curiosidad de la población local, o bien por simple vandalismo. Por tal motivo, se concluye que el monitoreo debe efectuarse en zonas urbanas o cuidadas dada la necesidad de mantener los sistemas operativos por largos intervalos de tiempo

RECOMENDACIONES

Como se ha mencionado en varias ocasiones, el monitoreo de la actividad volcánica en el Pacaya es de pertinencia y relevancia dada la permanente amenaza que representa este volcán para poblaciones situadas en sus faldas. Aportes por parte del sector académico, integrados a los esfuerzos de INSIVUMEH, deben fomentarse para que esta información sea puesta en manos de CONRED para una eficiente reducción de desastres naturales

La continua implementación de sistemas de monitoreo que tengan como objetivo la búsqueda de señales precursoras para el pronóstico de erupciones es una tarea compleja, dado que se basta con una técnica exclusiva, sino de varias que en conjunto puedan servir para comprender en mejor forma la actividad de este volcán y permitir a CONRED alerta a la población en caso de una posible erupción.

En lo que respecta a los sistemas de monitoreo empleados para esta investigación, se presentan las siguientes recomendaciones:

- *Se debe mantener en forma operativa las estaciones en El Patrocinio y en San Lucas. Además, se debe re-establecer la estación en Calderas o en San Francisco de Sales con el objetivo de determinar la factibilidad de la técnica VAN para la búsqueda de señales precursoras. Aunque se cuenta con un registro exitoso para un la erupción del 29 de febrero, esto no implica que la técnica VAN sea infalible. Por el contrario, se debe contar con más eventos y experiencias para remover el elemento de coincidencia que en la actualidad existe.*

MONITOREO GEOFISICO DEL VOLCAN PACAYA

- *Se debe continuar con el monitoreo del radón y ampliar los sitios de monitoreo a zonas más alejadas del Pacaya, tal como las fuentes termales en Amatitlán, con el objetivo de corroborar en mejor forma la hipótesis planteada por García con respecto a actividad eruptiva y emanaciones de radón.*
- *Se debe establecer en Guatemala el monitoreo de radón en tiempo real para que se utilice como una herramienta para pronóstico de erupciones en el volcán Pacaya. Para esto se tiene contemplado la instalación de las 3 sondas electrónicas contempladas en este proyecto en los sitios ya descritos.*
- *Dado que Guatemala cuenta con varios volcanes activos, se recomienda la implementación de estas técnicas en algunos de estos volcanes como una forma de iniciar una vigilancia similar, así como para determinar la aplicabilidad de estas técnicas para el monitoreo de señales precursoras*
- *En forma paralela a la determinación de la amenaza natural que representa el volcán Pacaya para las poblaciones aledañas, se debe analizar la vulnerabilidad de viviendas y de las poblaciones con respecto a este tipo de amenaza. Se recomienda que CONRED coordine las actividades a este respecto para así completar mapas de riesgo que puedan ser utilizados por autoridades locales y municipales para la reducción del riesgo asociado a las erupciones.*
- *Finalmente, se recomienda a las instituciones estatales apoyar los esfuerzos que hace el sector académico en esta temática, dado que este tipo de investigaciones representa un acercamiento por parte del sector académico a la realidad nacional.*
- *Esta experiencia exitosa de monitoreo volcánico deberá canalizarse en una forma tal que se fortalezcan INSIVUMEH y el sector académico, mediante un esfuerzo de cooperación conjunta. Esta simbiosis ya se ha presentado entre FISICC y CONRED en la temática de pronóstico de inundaciones. Los autores han creado un sistema comunitario de alerta temprana para CONRED, el cual ha sido ya replicado en varias cuencas a nivel nacional, así como en toda la región de América Central.*

AGRADECIMIENTOS

Este ha sido un proyecto que ha contado con el apoyo de varias instituciones. Los autores desean manifestar su agradecimiento al Dr. Otta Kulhanek del programa SAREC-SERCA, al Dr. Michel M. Monnin de la Universidad de Mont-Pellier, al Dr. Ralph García y al M.Sc. Guillermo Loría de la Universidad de Costa Rica, al Dr. P. Varotsos de la Universidad de Atenas, al personal de CONRED, al personal del laboratorio de Física Aplicada y el personal de FISICC, a CONCYT, al Dr. Carlos Franke de Electrónica CEF y a Don Felipe Fajardo, quienes han apoyado este proyecto en su vivienda en El Patrocinio.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] M. Monnin, J. L. Seidel, en **Nucl. Tracks and Rad. Meas.**, Vol 19. Nos. 1-4, S. A. Durrani and W. V. Benton, Editors, Pergamon Press, Oxford, 375, (1991)
- [2] Segovia N , De la Cruz-Reina S., Mena M., Ramos E., Monnin M., Seidel J. **Nat. Haz. 1**, 319,(1989).
- [3] Flores-Humanante B., Giroletti E., Idrovo J., Monnin M , Passinetti R., y Seidel J. **PAGEOPH.**, Vol. 132, 505(1990)
- [4] Loria L., Brenes J., Fernández E., García R., Monnin, M., Seidel J., Segovia N., Balcazar M. **Gas Geochemistry**, Suplemento a Vol. 16, 213 (1994) .
- [5] M. Singh, R. C. Ramola, B. Singh, S Singh, and H. S. Virk, en **Nucl. Tracks and Rad. Meas.**, Vol 19 Nos. 1-4, S. A. Durrani and W. V Benton, Editors, Pergamon Press, Oxford, 417, (1991).
- [6] D. E. Cherouati, M. T Chalal, and S. Djeflal, en **Nucl. Tracks and Rad. Meas.**, Vol 19. Nos. 1-4, S. A Durrani and W. V. Benton, Editors, Pergamon Press, Oxford, 299, (1991).
- [7] Thomas D. **PAGEOPH.**, Vol. 126, 241. (1988).
- [8] H. A. Khan, en **Nucl. Tracks and Rad. Meas.**, Vol 19. Nos. 1-4, S. A. Durrani and W. V. Benton, Editors, Pergamon Press, Oxford, 327, (1991)
- [9] N. Segovia, en **Nucl. Tracks and Rad. Meas.**, Vol 19 Nos. 1-4, S. A. Durrani and W. V. Benton, Editors, Pergamon Press, Oxford, 409, (1991).
- [10] S. De La Cruz-Reyna, M. Mena, N Segovia, J. F. Chalot, J. L. Seidel, M. Monnin, **PAGEOPH.** Vol. 123, 407 (1985)
- [11] P. Varotsos y K. Alexopoulus. *Tectonophysics*, Vol 110, pags 73-98, 1984
- [12] P. Varotsos y K. Alexopoulus. *Tectonophysics*, Vol 110, pags 99-125, 1984
- [13] *Tectonophysics*, Vol 224, No 1/3, 289 pp. 1993
- [14] Sir James Lighthill, " **A Critical Review of VAN-Earthquake Prediction From Seismic Electric Signals**", 374 pp , World Scientific, Singapore, 1996.
- [15] S. Uyeda, "**The VAN Methode for Earthquake Prediction**", *Revista Geofísica*, No. 44, pags 7-36, 1996.
- [16] V. Hadjicontis y C. Mavromatou. *Acta Geophysica Polonica*, Vol 43, No. 1, pags. 49-61 1995.
- [17] R. García, G. Natale, M. Monnin, J. L. Seidel. *Journal of Vulcanology and Geothermal Research*, Vol 96, No. 1, pags 15-24. 2,000.