

## Asociación de la Deformación registrada con GNSS CORS con las intrusiones magmáticas en el volcán Sabancaya durante el 2017

Luis Cruz<sup>1</sup>, Edu Taipe<sup>1</sup>, Rafael Miranda<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Observatorio Vulcanológico del INGEMMET (OVI) – [lcruz@ingemmet.gob.pe](mailto:lcruz@ingemmet.gob.pe)

**Palabras clave:** deformación, volcán Sabancaya, GNSS CORS, intrusión magmática.

La ocurrencia de erupciones volcánicas en nuestro planeta muestra la importancia de conocer mejor la dinámica de la naturaleza y el impacto de los peligros que con ella trae. La Cordillera de los Andes, una de las cordilleras más altas en todo el planeta, alberga más volcanes activos holocénicos que otras regiones volcánicas en el mundo (Tilling, 2009), sin embargo menos de 25 de los 200 volcanes potencialmente activos son monitoreados de forma continua (Stern, 2004).

El sur del Perú alberga siete volcanes activos localizados a menos de 160 km de la ciudad de Arequipa, la segunda ciudad más importante del país con cerca de un millón de habitantes, albergando entre estos siete al volcán Sabancaya, objeto de estudio del presente resumen.

El volcán Sabancaya, actualmente en proceso eruptivo por más de un año, durante todo el 2017 ha albergado más de 15 equipos instalados por el Observatorio Vulcanológico del INGEMMET (OVI), equipos encargados de monitorear diferentes parámetros físicos y químicos y otros que permiten la transmisión de datos en tiempo real. Dentro de esta instrumentación se encuentran 04 receptores GNSS de operatividad continua (CORS) encargados del monitoreo de deformación del volcán.

El monitoreo de deformación de la superficie volcánica permite diferenciar entre procesos inflacionarios o deflacionarios que pueden asociarse a intrusiones de cuerpos magmáticos en ascenso bajo el volcán, objetivo del presente trabajo.

### 1. Volcán Sabancaya

El volcán Sabancaya, perteneciente al Complejo Volcánico de Ampato y Sabancaya (CVAS) (Rivera et al., 2015) y actualmente en proceso eruptivo, está ubicado a 76 km de la ciudad de Arequipa en la parte Sur - Central de la provincia de Caylloma (latitud 15°47'S y longitud 71°50'O) y entre 10-25 km de más de veinte pueblos a su alrededor con un aproximado de 35 mil habitantes actualmente afectados por la actividad eruptiva del volcán por más de un año. (Figura 1).

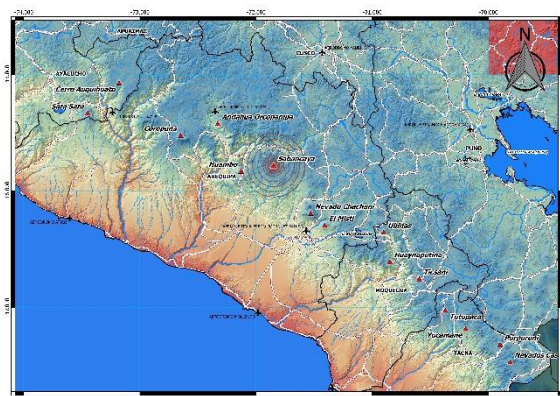


Fig. 1 – Ubicación del volcán Sabancaya en la cordillera de los Andes peruanos.

De acuerdo a Rivera et al. (2015), el volcán Sabancaya (5980 msnm) es el volcán más joven y activo del CVAS y está conformado principalmente por secuencias de flujos de lava de composición andesítica y dacítica con limitados depósitos piroclásticos. Sobre esos flujos de lavas yacen delgados depósitos de cenizas y algunos bloques juveniles ligados erupciones explosivas durante los últimos miles y cientos de años. Thouret et al., (1994) indica que la actividad histórica del volcán Sabancaya ocurrió durante los últimos 500 años estuvo caracterizada por erupciones leves a moderadas.

### 2. Metodología

El uso de los GNSS como técnica de monitoreo de deformación ha sido desarrollada y aplicada por diferentes autores (Foulger et al., 1987, Sigmundsson et al., 1992, Marshall et al., 1997, Nishi et al., 1999, Janssen y Rizos, 2003, Staudacher y Peltier, 2016, entre muchos más).

Durante el 2017, el monitoreo de deformación volcánica ha estado conformado por cuatro estaciones GNSS CORS ubicados al sureste del volcán (SBSE), al noreste (SBHO) en dirección a Hornillos, al norte (SBMI) en dirección a Milluca y al oeste-noroeste (SBMU) en dirección a la Laguna de Mucurca (Figura 2).

Para este trabajo se usó solamente las estaciones SBSE y SBHO debido a su cercanía al cono volcánico, además que SBMI y SBMU no cuentan con un registro continuo en los periodos de análisis. Mientras que el procesamiento de los datos se realizó

mediante el software científico GAMIT/GLOBK (Herring 2006, 2010).

### 3. Deformación y episodios de Intrusión Magmática

El volcán Sabancaya ha presentado un claro proceso de inflación de ~13 hasta 29 mm durante el 2017 (Figura 2 y 3).

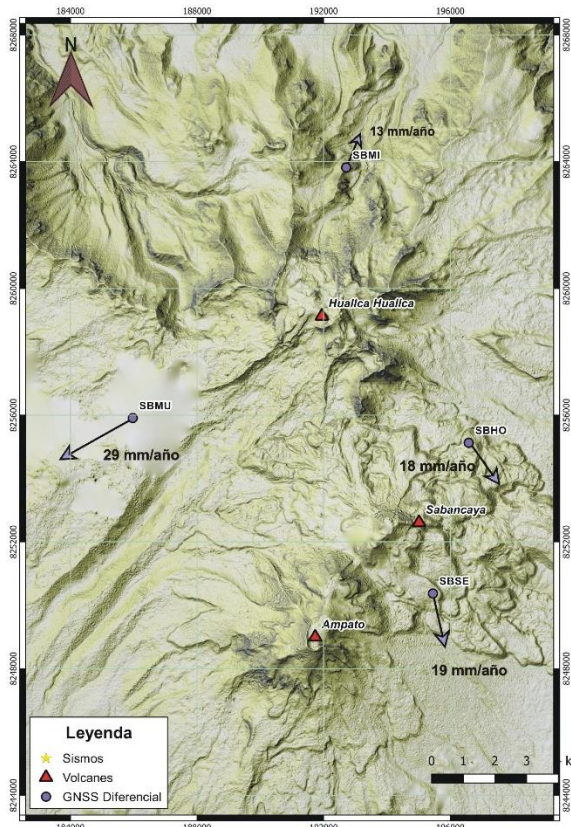


Fig. 2 – Vectores horizontales de Desplazamiento en el volcán Sabancaya durante el 2017.

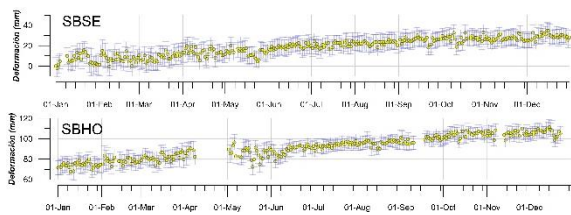


Fig. 3 –Desplazamiento vertical de las estaciones SBSE y SBHO durante el 2017.

Durante este periodo, la inflación en el volcán Sabancaya ha presentado episodios de deformación elástica posiblemente asociados a episodios de intrusión magmática, relación ya antes identificada por otros autores en otros volcanes (Neuberg et al., 1998; Voight et al., 1998, Watson et al., 2000, Cardona et al., 2009).

De acuerdo a estos autores, y a sus estudios realizados, se cree que estos episodios de deformación elástica en el edificio volcánico son

causados por el mismo proceso que causa la sismicidad del tipo híbrido. Sismicidad causada por la resonancia de la columna magmática provocada por el movimiento del gas liberado de lotes de magma en ascenso ricos en gas, ya que de acuerdo a White (2015), a medida que el magma se eleva a 1-2 km por debajo del volcán, la sismicidad de baja frecuencia (LP - periodo largo) y de híbridos (HYB) dominan en ocurrencia y a menudo aumentan drásticamente.

Los cambios de deformación en el volcán relacionados a episodios de intrusión magmática observados por otros autores, se relacionan con la ocurrencia de eventos sísmicos del tipo híbrido y emisiones de gases SO<sub>2</sub>. Así por ejemplo, Miller et al. (1998) en el volcán Soufriere Hills (SVH), observó que procesos de inflación estuvieron acompañados de enjambres sísmicos del tipo híbrido, los cuales se intensificaban a medida que la inflación alcanzaba su punto máximo; mientras que la deflación coincidía con el final de la actividad híbrida; así también que las tasas de emisión de SO<sub>2</sub> habían estado correlacionadas con la deformación medida. Para Watson et al. (2000), esta última relación entre gas y deformación es consistente con el aumento de mayor cantidad de magma rico en gas y los subsecuentes aumentos de presión que pueden haber causado la sismicidad híbrida.

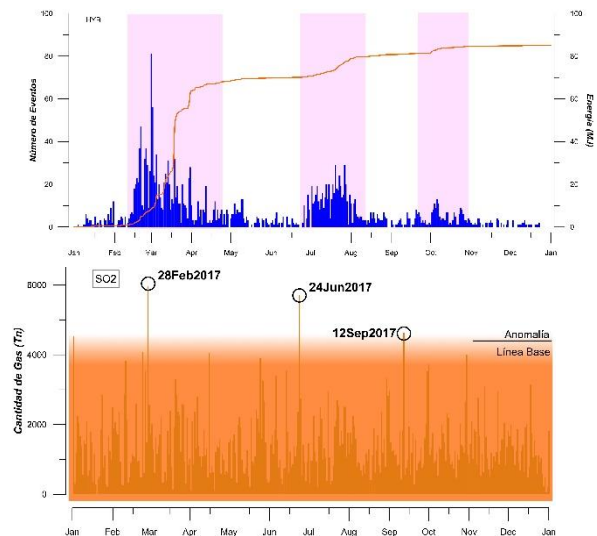


Fig. 4 –Arriba, ocurrencia de eventos sísmicos del tipo híbrido y su energía acumulada; abajo, tasas de SO<sub>2</sub> por día medidas durante el 2017.

Para el volcán Sabancaya estos episodios de intrusión magmática evidenciados con la ocurrencia de los eventos híbridos se produjeron hasta en tres ocasiones durante el 2017, la primera desde el 10 de febrero hasta la última semana de abril, la segunda desde el 24 de junio al 10 de agosto y la tercera desde inicios de octubre hasta finales de noviembre (Ver Figura 4).

Así en el volcán Sabancaya las deformaciones elásticas posiblemente asociadas a los tres episodios

de intrusión magmática se identifican antes del aumento en ocurrencia de los eventos híbridos, estando marcados por una desestabilización en el sistema para luego proseguir con la inflación habitual de la componente.

Antes de la primera intrusión magmática se evidenció en SBHO una desestabilización vertical  $\sim 11 \pm 6$  mm y un desplazamiento horizontal  $\sim 8.5 \pm 3$  mm en dirección suroeste, mientras que SBSE evidenció una desestabilización  $\sim 15 \pm 6$  mm y un desplazamiento horizontal  $\sim 5 \pm 3$  mm en dirección oeste (Figura 5).

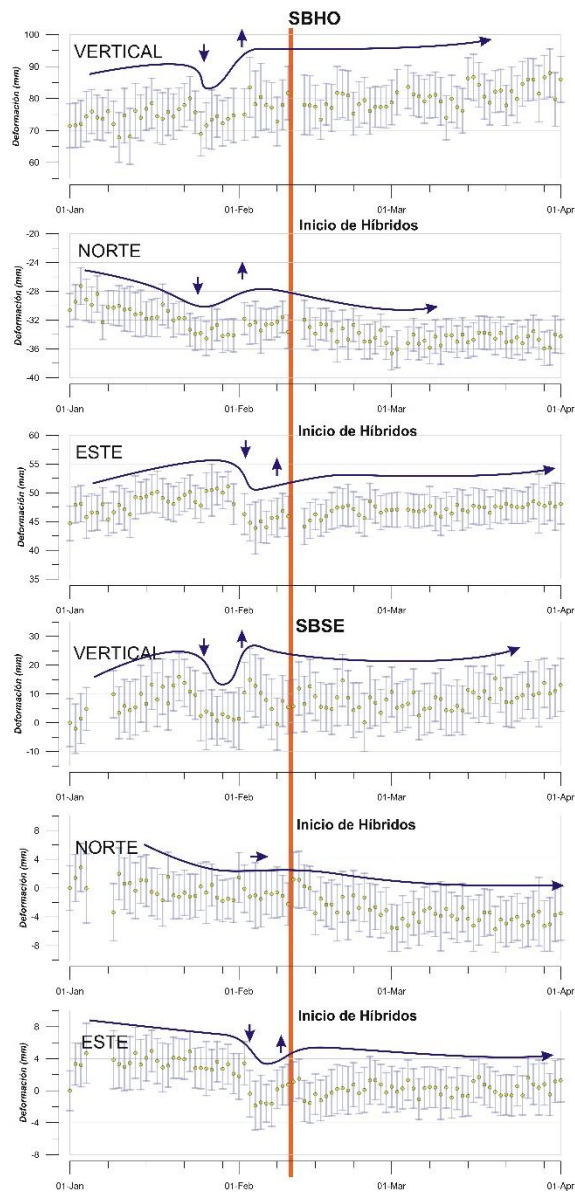


Fig. 5 –Deformación en SBHO y SBSE en sus tres componentes observada antes del primer episodio de intrusión magmática.

Antes de la segunda intrusión magmática se evidenció en SBHO una desestabilización vertical  $\sim 12 \pm 6$  mm y un desplazamiento horizontal  $\sim 6 \pm 3$  mm en dirección suroeste, mientras que SBSE

evidenció una desestabilización  $\sim 14 \pm 7$  mm y un desplazamiento horizontal  $\sim 7 \pm 3$  mm en dirección suroeste (Figura 6).

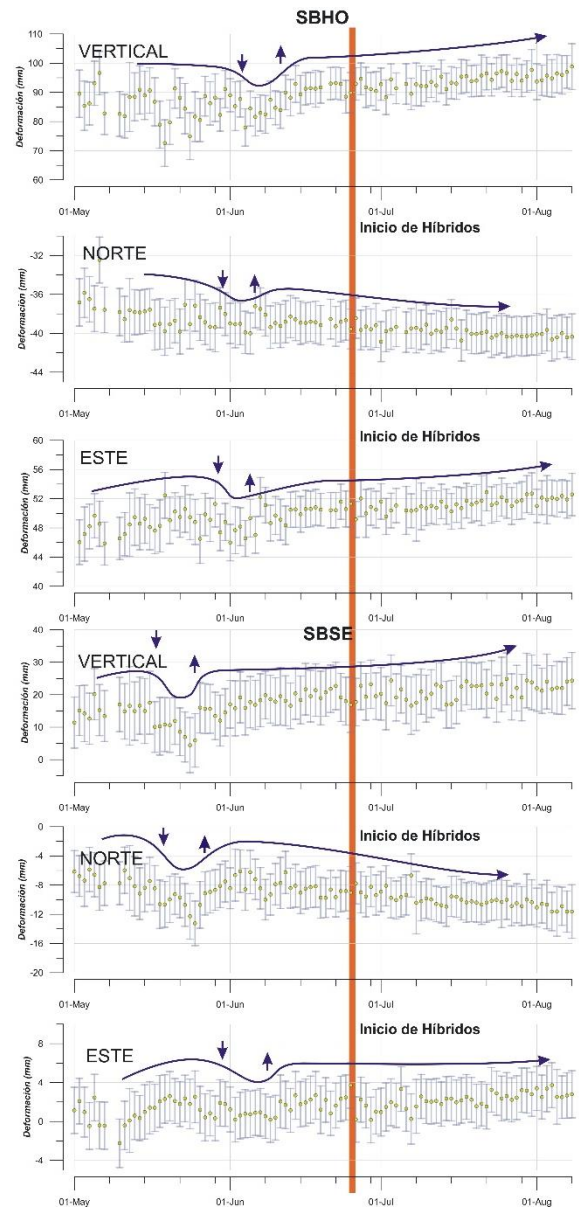


Fig. 6 –Deformación en SBHO y SBSE en sus tres componentes observada antes del segundo episodio de intrusión magmática.

Antes de la tercera intrusión magmática se evidenció en SBHO una desestabilización vertical  $\sim 7 \pm 6$  mm y un desplazamiento horizontal  $\sim 5 \pm 3$  mm en dirección suroeste, mientras que SBSE evidenció una desestabilización  $\sim 10 \pm 7$  mm y un desplazamiento horizontal  $\sim 4.5 \pm 3$  mm en dirección suroeste (Figura 7).

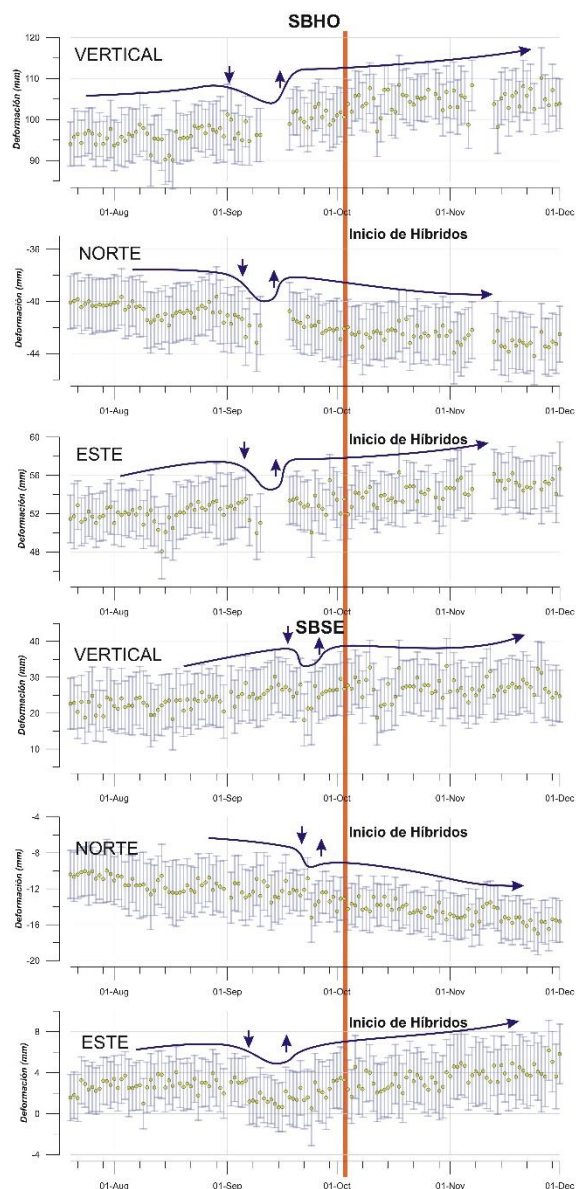


Fig. 7 –Deformación en SBHO y SBSE en sus tres componentes observada antes del tercer episodio de intrusión magmática.

#### 4. Conclusión

Las deformaciones elásticas identificadas en el volcán Sabancaya muestran dos etapas, una primera en la cual se evidencia deflación que correspondería al final de la intrusión magmática previa, proseguida por otra etapa de inflación que correspondería al nuevo episodio intrusivo, el cual es evidenciado días después por la aparición de los eventos híbridos y las anomalías altas en las tasas de  $\text{SO}_2$ .

Estas deformaciones elásticas identificadas antes de los episodios de intrusión magmática en el volcán Sabancaya estarían probablemente relacionados al movimiento de una cámara magmática por debajo del edificio volcánico del Sabancaya pero mucho más superficial que la identificada por Pritchard & Simons (2004) por debajo del Hualca Hualca entre 13 y 23

km. Así esta deformación guardaría relación con el modelo de White et al., (1998), en el que menciona el efecto que puede causar una fuente de presión profunda que actúa periódicamente por debajo de una fuente magmática más superficial causando su movimiento hacia la superficie causando la deformación detectada por nuestros GNSS más cercanos al edificio.

#### Agradecimientos

Se agradece amablemente al área de Sismología del OVI por el procesamiento de los eventos sísmico del tipo híbrido y al área de Geoquímica por los valores de  $\text{SO}_2$ .

#### Referencias

- Cardona, C., Santacoloma, C., White, R., McCausland, W., Trujillo, N., Narvaez, A., . . . Manzo, O. (2009). Sismicidad tipo “drumbeat” asociada a la erupción y emplazamiento de un domo en el volcán Nevado del Huila, noviembre de 2008. In *Memorias XII Congreso Colombiano de Geología*, 7-11.
- Foulger, G., Bilham, R., Morgan, J., & Einarsson, P. (1987). The Iceland Geodetic Field Campaign 1986. *Eos*, 1801-1818.
- Herring, T. A., King, R. W., & McClusky, S. C. (2006). AMIT Reference Manual, Release 10.3, Department of Earth, Atmospheric, and Planetary Sciences. *Massachusetts Institute of Technology*.
- Herring, T. A., King, R. W., & McClusky, S. C. (2010). Introduction to Gamit/Globk. *Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Massachusetts*.
- Janssen, V., & Rizos, C. (2003). A mixed-mode GPS network processing approach for deformation monitoring applications. *Survey review*, 37(287), 2-19.
- Marshall, G., Langbein, J., Stein, R., Lisowski, M., & Svarc, J. (1997). Inflation of Long Valley Caldera, California, Basin and Range Strain, and Possible Mono Craters Dike Opening from 1990-94 GPS Surveys. *Geophysical Research Letters*, 24(9), 1003-1006.
- Miller, A. D., White, R. A., Luckett, R., Baptie, B. J., Aspinall, W. P., . . . & Voight, B. (1998). Seismicity associated with dome growth and collapse at the Soufriere Hills Volcano. *Montserrat. Geophysical Research Letters*, 25(18), 3401-3404.
- Neuberg, J., Baptie, B., Luckett, R., & Stewart, R. (1998). Results from the broadband seismic network on Montserrat. *Geophysical Research Letters*, 25(19), 3661-3664.
- Nishi, K., Ono, H., & Mori, H. (1999). Global Positioning System Measurements of Ground Deformation Caused by Magma Intrusion and Lava Discharge: The 1990-1995 Eruption at Unzendake Volcano, Kyushu, Japan. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 89, 23-34.
- Pritchard, M. E., & Simons, M. (2004). An InSAR-based survey of volcanic deformation in the central Andes. *Geochem. Geophys. Geosyst*, 5. doi:10.1029/2003GC000610
- Rivera, M., Mariño, J., Samaniego, P., Delgado, R., & Manrique, N. (2015). *Geología y evaluación de*

- peligros del complejo volcánico Ampato - Sabancaya (Arequipa)*. Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, 61, 122 p., 2 mapas., INGEMMET.
- Sigmundsson, F., Einarsson, P., & Bilham, R. (1992). Magma Chamber Deflation Recorded by the Global Positioning System: The Hekla 1991 Eruption. *Geophysical Research Letters*, 19, 1483-1486.
- Staudacher, T., & Peltier, A. (2016). Round deformation at Piton de la Fournaise, a review from 20 years of GNSS monitoring. In *Active Volcanoes of the Southwest Indian Ocean*. Springer, Berlin, Heidelberg, 251-269.
- Stern, C. R. (2004). Active Andean volcanism: Its geologic and tectonic setting. *Revista Geológica de Chile*, 161-206.
- Thouret, J.-C., Guillaude, R., Huamán, D., Gourgaud, A., Salas, G., & Chorowicz, J. (1994). L'activité actuelle du Nevado Sabancaya (Sud Pérou): reconnaissance géologique et satellitaire, évaluation et cartographie des menaces volcaniques. *Bulletin Société Géologique de France*, 165 (1), 49-63.
- Tilling, R. I. (2009). Volcanism and associated hazards: the Andean perspective. *Advances in Geosciences*, 125-137.
- Voight, B., Hoblitt, R. P., Clarke, A. B., Lockhart, A. B., Miller, A., Lynch, L., & McMahon, J. (1998). Remarkable cyclic ground deformation monitored in real-time on Montserrat, and its use in eruption forecasting. *Geophysical Research Letters*, 25(18), 3405-3408.
- Watson, I. M., Oppenheimer, C., Voight, B., Francis, P. W., Clarke, A., Stix, J., . . . Staff, M. (2000). The relationship between degassing and ground deformation at Soufriere Hills Volcano, Montserrat. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 98(1-4), 117-126.
- White, R. A. (2015). Seismic Forecasting of Eruptions at Dormant StratoVolcanoes. *AGU Fall Meeting Abstracts*.
- White, R. A., Miller, A. D., Lynch, L., & Power, J. (1998). Observations of hybrid seismic events at Soufriere Hills volcano, Montserrat: July 1995 to September 1996. *Geophysical Research Letters*, 25(19), 3657-3660.