

Dispersión de los sedimentos y fluctuaciones en temperatura de la erupción del volcán Copahue en mayo 2013

Wilmary M. Vera-Pujols

Departamento de Geología, Universidad de Puerto Rico P.O. Box 9012 Mayagüez, Puerto Rico 00681

RESUMEN

El volcán Copahue es un estratovolcán activo localizado en Argentina, donde para el 23 de mayo de 2013 tuvo una erupción freática. Utilizando el estudio de percepción remota, se procesó una imagen de satélite de los sensores OLI y TIRS (satélite Landsat 8) para conocer las fluctuaciones en temperatura y cuán lejos fueron transportados los sedimentos en la atmósfera del volcán. Se le aplicaron los algoritmos de Radianza, Brillantez de Temperatura, Nubes Volcánicas y NDSI (Normalized- Difference Snow Index). Los resultados reflejaron que las temperaturas cerca del volcán fueron en aumento y las temperaturas más altas fueron localizadas en donde se encuentran las nubes volcánicas. Como limitaciones, las cenizas y el SO₂ no pudieron ser medidos debido a que el satélite Landsat 8 no posee las bandas con los largos de onda necesarios. En conclusión, pudo medirse la nube volcánica en la atmósfera y fueron validados por el reporte volcanológico. Además, se conocieron los cambios en temperatura de la región donde está localizado el volcán Copahue.

Palabras claves: Copahue, percepción remota, OLI, TIRS, Radianza, Brillantez de Temperatura, Nubes Volcánicas, NDSI, Landsat 8

INTRODUCCIÓN

El estudio de percepción remota contribuye al monitoreo de volcanes mediante el procesamiento de imágenes digitales y fotografías aéreas. El volcán Copahue es uno de los volcanes más activos en Argentina y sus erupciones pueden representar una amenaza a salud de la población que habita en las regiones adyacentes. Para la fecha que se obtuvo la imagen de este volcán, había una alerta nivel naranja que indica que una erupción puede durar días o semanas. Utilizando el estudio de percepción remota se procesó una imagen digital del volcán Copahue para determinar

si el satélite Landsat 8 podía ayudar al monitoreo de volcanes.

Para el mes de mayo de 2013, según el reporte volcanológico para el volcán Copahue, se presentó un incremento en los sismos volcano-tectónicos, emisiones de SO₂ y otros gases volcánicos (OVDAS 2013). Esta investigación es basada en una imagen de Landsat 8 obtenida el 23 de mayo de 2013. La imagen fue seleccionada para esa fecha debido a que no presentaba nubes que pudieran afectar los objetivos de la investigación.

Como objetivos se procesó la imagen obtenida de Earth Explorer del satélite Landsat 8 con los sensores OLI y TIRS. En

adición, se buscaba conocer las fluctuaciones en temperatura (nieve) que ocurrieron como consecuencia de la erupción el 23 de mayo de 2013. Finalmente, se esperaba conocer cuán lejos han sido transportados los sedimentos en la atmósfera (gases y cenizas). Para adquirir los resultados fueron aplicados distintos algoritmos a las imágenes digitales y analizados los índices obtenidos.

El propósito de la investigación era conocer mediante percepción remota y el procesamiento de imágenes del satélite Landsat 8, ¿cuánta fue la dispersión de los sedimentos en la atmósfera y en el terreno del material piroclástico del volcán Copahue para el 23 de mayo de 2013? Adicionalmente, ¿ocurrieron fluctuaciones en temperaturas en la región a causa de la erupción?

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El volcán Copahue ($37^{\circ} 45.35' S$, $71^{\circ} 11' O$) es un estratovolcán activo localizado en la región sur de Argentina (Fig. 1) (Velez *et al.* 2011). Se caracteriza por erupciones freáticas que envuelven gases volcánicos y cenizas (Velez *et al.* 2011). Como consecuencia de su localización cerca del polo sur es que se encuentra la presencia de nieve en el volcán. Este volcán es monitoreado por el Observatorio Volcanológico de los Andes del Sur (OVDAS) donde se utilizan imágenes del sensor MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) para el análisis de las emisiones de gases volcánicos (OVDAS 2013). OVDAS (2003) indicó que el 23 de mayo de 2013 se mostró una extensa pluma cercana a los 100 km de extensión de color gris translúcido, sugiriendo la presencia importante de gases volcánicos.



Fig. 1. Localización del volcán Copahue, Argentina. Está ubicado en la frontera, entre Chile y Argentina
(http://1.bp.blogspot.com/-aVlgscVUeIw/UNiaB5o3tjI/AAAAAAAAAKGo/-JY7RD_Iqio/s320/volc%25C3%25A1n%2Bchile-8-copahue-mapa.jpg).

Satélite y sensores

Se obtuvo la imagen de Earth Explorer del satélite Landsat 8. Este satélite se compone de dos sensores, OLI y TIRS (http://landsat.usgs.gov/band_designations_landsat_satellites.php). El sensor OLI tiene bandas espectrales en la región visible, en el infrarrojo cercano, infrarrojo medio y una banda pancromática (Fig 2) (http://landsat.usgs.gov/band_designations_landsat_satellites.php). Sin embargo, el sensor TIRS se compone de bandas termales utilizadas para medir temperaturas (Fig 3) (http://landsat.usgs.gov/band_designations_landsat_satellites.php). En ambos sensores los algoritmos aplicados fueron distintos, todo dependía de las bandas requeridas en la ecuación.

Banda espectral	Largo de onda	Resolución
Banda 1 - Costa / Aerosoles	0.433 - 0.453 μm	30 m
Banda 2 - Azul	0.450 - 0.515 μm	30 m
Banda 3 - Verde	0.525 - 0.600 μm	30 m
Banda 4 - Rojo	0.630 - 0.680 μm	30 m
Banda 5 - Infrarojo cercano	0.845 - 0.885 μm	30 m
Banda 6 - Infrarojo Medio	1.560 - 1.660 μm	30 m
Banda 7 - Infrarojo Medio	2.100 - 2.300 μm	30 m
Banda 8 - Pancromática	0.500 - 0.680 μm	15 m
Banda 9 - Cirrus (nubes)	1.360 - 1.390 μm	30 m

Fig. 2 – Bandas del sensor OLI, pertenecientes al satélite Landsat 8. Modificado de (http://landsat.usgs.gov/band_designations_1andsat_satellites.php).

Banda espectral	Largo de onda	Resolución
Banda 10	TIRS 1	10.30 - 11.30 μm
Banda 11	TIRS 2	11.50 - 12.50 μm

Fig 3. Bandas espectrales del sensor TIRS del satélite Landsat 8. Estas bandas son utilizadas para medir los cambios en temperatura. Modificado de (http://landsat.usgs.gov/band_designations_1andsat_satellites.php).

Procesamiento de la imagen

Para procesar la imagen en el programa ENVI se realizó una unión de las bandas y se realizó un subconjunto (*subset*) de la imagen con la región de interés. En las imágenes procesadas la localización del

volcán es en la parte inferior izquierda de la imagen.

El primer algoritmo aplicado a la imagen fue el de radianza. Se obtuvo aplicando la siguiente ecuación:

$$L_{\lambda} = M_L Q_{cal} + A_L$$

where:

L_{λ} = TOA spectral radiance (Watts/(-m² * srad * μm))

M_L = Band-specific multiplicative rescaling factor from the metadata (RADIANCE_MULT_BAND_x, where x is the band number)

A_L = Band-specific additive rescaling factor from the metadata (RADIANCE_ADD_BAND_x, where x is the band number)

Q_{ca} = Quantized and calibrated standard product pixel values (DN)

(https://landsat.usgs.gov/Landsat8_Using_Product.php)

Los datos en la ecuación aplicada fueron:

$$\text{Radianza} = (3.3420 \times 10^{-4}) * (\text{banda 10}) + 0.10$$

Para el algoritmo de radianza fue utilizado el valor de la banda 10 del sensor TIRS. Era necesario calcular la radianza para aplicarla al algoritmo de Brillantez de Temperatura (<http://www.gisagmaps.com/landsat-8-atco/>)

El algoritmo de Brillantez de Temperatura es el siguiente:

$$T = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_{\lambda}} + 1\right)}$$

where:

$T = \text{At-satellite brightness temperature (K)}$

$L\lambda = \text{TOA spectral radiance (Watts/(-m}^2 * \text{srad} * \mu\text{m))}$

$K1 = \text{Band-specific thermal conversion constant from the metadata (K1_CONSTANT_BAND}_x, \text{ where } x \text{ is the band number, 10 or 11)}$

$K2 = \text{Band-specific thermal conversion constant from the metadata (K2_CONSTANT_BAND}_x, \text{ where } x \text{ is the band number, 10 or 11)}$

(<http://www.gisagmaps.com/landsat-8-atco/>)

Los valores de $K1$ (774.89) y $K2$ (1321.08) fueron obtenidos de los datos de la banda 10 del sensor TIRS y se utilizó la radianza calculada en la ecuación anterior.

Para conocer el índice de Nubes Volcánicas, se utilizaron las bandas de la imagen procesada con Brillantez de Temperatura. Kratzmann *et al.* (2010) utiliza la siguiente ecuación aplicada al sensor AVHRR:

Nubes Volcánicas = Banda 5 de brillantez de temperatura – Banda 4 de brillantez de temperatura

Los largos de onda necesarios para aplicar la ecuación al sensor TIRS que mide temperaturas nos indican que la banda 5 de AVHRR es la banda 11 en TIRS y la banda 4 en AVHRR es la banda 10 en TIRS (Kratzmann *et al.* 2010). Para determinar la distancia de la nube volcánica se utilizó en el programa ENVI la herramienta que mide distancia en kilómetros.

Finalmente, a una nueva imagen se procesó aplicándole el algoritmo NDSI (Normalized-Difference Snow Index) utilizando las bandas del sensor OLI. Lopez *et al.* (2006) utiliza la siguiente ecuación del sensor MODIS para identificar la presencia de nieve en la imagen

$$\text{NDSI} = (\text{banda 2} - \text{banda 5}) / (\text{banda 2} + \text{banda 5})$$

donde, la banda 2 en MODIS es la banda 3 en OLI y banda 5 es banda 6 en OLI. Sin embargo, es importante reconocer que el largo de onda de OLI en la banda 6 (1.560-1.660) es menor del equivalente a la banda 5 (1.550-1.750) en el sensor MODIS (Kratzmann *et al.* 2010).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La imagen que se procesó para el análisis de los distintos índices tiene la localización del volcán Copahue en la parte inferior izquierda (Fig. 4).



Fig. 4- Muestra el subconjunto de la imagen del satélite Landsat 8 en color verdadero. En donde se encuentra el símbolo color rojo indica aproximadamente la localización del volcán.

El algoritmo de radianza aplicado a la imagen fue necesario para obtener la Brillantez de Temperatura. Mediante la Brillantez de Temperatura se pudieron identificar las altas temperaturas de la región (Fig. 5).

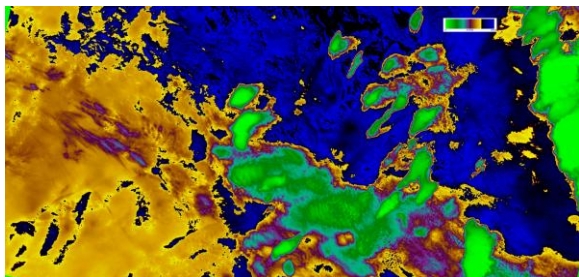


Fig. 5- Las bajas temperaturas se identifican en los colores verdes y las altas temperaturas son representadas por los colores amarillo y azul.

En la imagen (Fig. 5), el volcán está localizado en donde se encuentra el color amarillo. Esto quiere decir que a medida que aumentan las temperaturas (azul) se puede observar que se dirigen hacia la parte norte con alguna presencia de altas temperaturas. Sin embargo, cuando se procesó la imagen para identificar las nubes volcánicas se pudieron validar los datos obtenidos. En la Fig. 6 se observa que la nube volcánica está en la misma región donde están localizadas las altas temperaturas. Las nubes volcánicas están representadas por los valores negativos y las nubes meteorológicas por valores positivos, valores obtenidos luego de aplicar el algoritmo necesario en la imagen de brillantez de temperatura (Fig. 6) (Kratzmann et al. 2010).

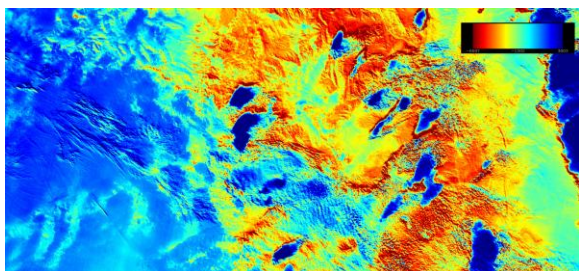


Fig. 6- La imagen indica los valores negativos mediante los colores rojo y amarillo que indican la presencia de nubes volcánicas.

Luego de identificar la nube volcánica, se midió la distancia en el programa ENVI y se obtuvo que la distancia recorrida por la nube volcánica fue de 121.3 km (Fig. 7). Si se comparan estos resultados con los datos de OVDAS obtenidos del sensor MODIS, se obtiene que el reporte volcanológico indica que la distancia recorrida de gases fue de aproximadamente 100 km (OVDAS 2013). Se puede concluir que el valor en ENVI pudo haberse afectado por un error humano y que el valor puede ser certero.

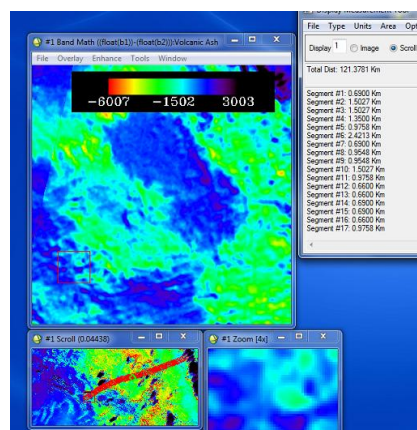


Fig. 7- Indica la distancia medida mediante una línea roja en la imagen de la izquierda inferior.

Para el NDSI, se utilizaron las bandas del sensor OLI. La nieve en el espectro visible es muy reflexiva, mientras ocurre lo opuesto en el infrarrojo medio (Lopez *et al.* 2006). Lopez *et al.* (2006) establece un umbral del índice NDSI superior a 0.4 para la discriminación de la cubierta de nieve. El NDSI es un índice normalizado que elimina parcialmente los efectos atmosféricos y se pueden identificar las bajas temperaturas (Lopez *et al.* 2006). La presencia de altas temperaturas se puede comprobar con las imágenes anteriores, donde están localizadas en el mismo lugar (Fig. 8).

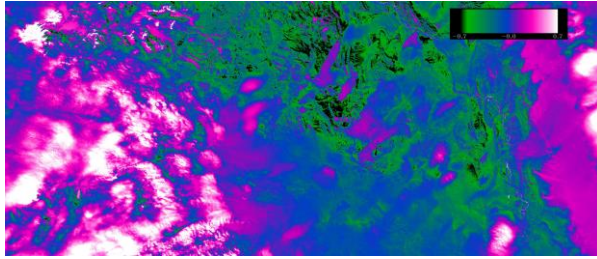


Fig. 8- Los valores negativos son representados por el color verde, el valor 0 en el azul y los valores positivos con un máximo de 0.7 en el rosa y blanco.

Limitaciones

Durante la investigación realizada se pudieron identificar limitaciones para poder cumplir con los objetivos. Los sensores OLI y TIRS tienen menos bandas que los sensores utilizados comúnmente para el monitoreo de volcanes. En esta investigación la cantidad de cenizas y el SO₂ no pudo ser identificado. Esto se debió a que OLI no tiene bandas con los largos de ondas requeridos para la identificación de estas emisiones.

CONCLUSIÓN

Luego de procesar las imágenes digitales del satélite Landsat 8, se pudieron identificar varios índices que pueden ayudar al monitoreo de volcanes. En cambio, para la investigación este monitoreo fue limitado por las bandas de los sensores OLI y TIRS. Para monitorear las cenizas y gases que emiten los volcanes se necesitan sensores con mayores bandas y largos de ondas. La información del OVDAS pudo ser corroborada mediante la investigación, donde los valores obtenidos sobre la distancia recorrida de la nube son relativamente cercanos uno del otro.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Dr. Gilbes por hacer posible realizar la investigación y compartir su conocimiento de percepción remota. Adicional, quiero agradecer a la Dra. Rodríguez por su ayuda y cooperación.

REFERENCIAS

- Kratzmann, D., J., Carey, S., N., Fero, J., Scasso, R., A., Naranjo, J., 2010, Simulations of tephra dispersal from the 1991 explosive eruptions of Hudson volcano, Chile, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, v. 190, p. 337-352.
- Lopez, C., Rosello, C., Pons, F., 2006, Mejoras en la determinación de la cubierta nival mediante imágenes Landsat y MODIS, *El acceso a la información espacial y las nuevas tecnologías geográficas*, p. 65-78.
- OVDAS, 2013, Reporte Especial Actividad Volcánica, Servicio Nacional de Geología y Minería.
- Velez, M., L., Euillades, P., Caselli, A., Blanco, M., Martinez, J., 2011, Deformation of Copahue volcano: Inversion of InSAR data using a genetic algorithm, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, v. 202, p. 117-126.