

Detección automática de anomalías térmicas: Caso Volcán Copahue

Federico Carballo¹[0009-0003-0890-3626], Andrea Rey¹[0000-0002-9185-1382], Juan M. Santos¹[0009-0005-6967-3603], y Juliana Gambini¹[0000-0002-4534-1402]

¹ Centro de Investigación y Desarrollo en Informática Aplicada, Universidad Nacional de Hurlingham, Tte. Manuel Origone 151, Villa Tesei, Pcia. de Buenos Aires, Argentina
federico.carballo@unahur.edu.ar

Abstract. La detección automática y el análisis de anomalías térmicas relacionadas a volcanes es de suma importancia debido a que las mismas son potencialmente indicativas del inicio de procesos eruptivos. Este trabajo está dedicado a la detección automática de anomalías térmicas en el volcán Copahue basada en la interpretación de imágenes satelitales ópticas del sensor ASTER tomadas en los últimos 20 años. El volcán Copahue se encuentra en la frontera entre Argentina y Chile. El mismo registra 12 erupciones en los últimos 250 años, destacándose las ocurridas en 1992, 2000 y 2012. A lo largo del período histórico se han presentado manifestaciones termales superficiales relacionadas con la actividad en profundidad del mismo. El análisis de las anomalías térmicas es una herramienta fundamental para el estudio y monitoreo del volcán. En este trabajo, construimos una base de imágenes satelitales ópticas, utilizando las bandas NIR y TIR, etiquetadas por un experto, que permite entrenar un modelo basado en máquinas de soporte vectorial (SVM) para detección de anomalías térmicas. Los resultados preliminares son altamente prometedores.

Keywords: Volcán Copahue, Detección Automática de Anomalías Térmicas, SVM.

1 Introducción

Debido a que el comportamiento eruptivo de los volcanes suele ser único y específico de cada uno de ellos, la predicción precisa de estas erupciones se basa en un seguimiento exhaustivo de los fenómenos geofísicos, geoquímicos y geológicos precursores relevantes, junto con una mayor frecuencia de observaciones durante los períodos de agitación volcánica. Algunos volcanes presentan un aumento o disminución de las emisiones térmicas y gaseosas en la superficie terrestre que precede a una erupción. No obstante, la actividad térmica elevada frecuentemente precede a las erupciones volcánicas, observables en las chimeneas del cráter y los flancos de los volcanes. Esta actividad puede manifestarse sutilmente como temperaturas elevadas en un área amplia o concentrarse como puntos calientes o emisiones térmicas vinculadas a fracturas o fumarolas. Desde la década de 1980, la teledetección ha sido ampliamente utilizada para

explorar sistemas volcánicos y analizar las características específicas de estos fenómenos termales, como los lagos de cráter activos, donde el empleo de instrumentos infrarrojos permite identificar fenómenos de baja temperatura [1], por encima de los valores ambientales. Las anomalías de alta temperatura se atribuyen a procesos volcánicos como flujos de lava, formación de domos o material incandescente [2]. Las de bajas temperaturas, raramente exceden los 100 °C, desplazando los picos de emisión Planck a longitudes de onda térmicas (TIR) más largas en el rango de 8-12 μm en comparación con flujos de lava activos.

La habilidad de detectar anomalías térmicas (a.t.) mediante sensores remotos depende de la resolución espacial y temporal del instrumento de detección y, adicionalmente, intervienen varios factores: (a) redistribución de la energía térmica en la capa límite local por el efecto del viento constante, ampliando la distribución de energía sobre una superficie más grande y reduciendo la densidad de energía detectada; (b) absorción de energía solar re-radiada por materiales volcanoclásticos superficiales con baja inercia térmica, disminuyendo el contraste térmico de la anomalía en comparación con los materiales circundantes; (c) presencia de agua de lluvia, nieve derretida o agua subterránea, mitigando la expresión superficial de una a.t..



Fig. 1. Detalle del área de estudio.

El Observatorio Argentino de Vigilancia Volcánica (OAVV) del Servicio Geológico Minero Argentino (SEGEMAR) realiza el monitoreo y seguimiento de la actividad de los 39 volcanes considerados activos para la República Argentina, a partir de datos satelitales de distintos sensores, como la temperatura superficial, con el apoyo de la dirección de Geomática del SEGEMAR [3]. El uso de estos datos permite el monitoreo e identificación de a.t. en los volcanes activos lo que permite emitir alertas ante potenciales procesos eruptivos. En particular, el volcán Copahue, parte del Complejo

Volcánico Caviahue-Copahue, es el de mayor riesgo para Argentina, con centros turísticos como Caviahue y Copahue en un radio de 8 km. El volcán situado en la frontera entre Argentina y Chile, en la provincia de Neuquén (Fig. 1), es vigilado por el OAVV y el Observatorio Vulcanológico de los Andes Meridionales de Chile. Compuesto principalmente por coladas de lava andesítica y basáltica-andesítica, junto con depósitos piroclásticos subordinados, ha experimentado 12 erupciones en los últimos 250 años, siendo la última en 2012. Las investigaciones realizadas en éste se han centrado principalmente en análisis sísmicos, geoquímica de gases e isotópica y de deformación. Además, se han realizado estudios para evaluar la temperatura del lago del cráter del volcán, incluyendo datos *in situ*. El lago cratérico del volcán ha experimentado vaciamiento y recuperación posterior, con manifestaciones superficiales, evidenciando un sistema altamente dinámico. Existen estudios que relacionan esta actividad con la dinámica previa a eventos eruptivos [4]. El procesamiento de imágenes satelitales aplicando diversas técnicas y algoritmos permite el análisis de la temperatura superficial del volcán [4]. Este trabajo tiene por objetivo la evaluación de máquinas de soporte

vectorial (SVM, en inglés) para construir modelos capaces de identificar a.t. automáticamente. Con este fin, se consideraron las a.t. observadas en el volcán Copahue en los últimos 20 años, utilizando los datos satelitales adquiridos por el *Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer* (ASTER) a bordo del satélite Terra.

2 Materiales y métodos

El sensor ASTER es un instrumento óptico que obtiene imágenes de alta resolución espacial con 4 canales en el infrarrojo visible y cercano (VNIR), 6 bandas en el infrarrojo de onda corta (SWIR) y 5 en el infrarrojo térmico (TIR). Las imágenes se descargan del banco de datos MADAS del Servicio Geológico de Japón y se realiza la conversión de las bandas a radiancia y luego, apiladas con rutinas en R. Para la obtención de la temperatura absoluta (en grados Kelvin, valor promedio de un píxel de 90 m) se utilizan las 5 bandas del infrarrojo térmico (TIR), corregidas atmosféricamente, con el método de emisividad normalizada (NEM) y el método Quick Atmospheric Correction (QAC) en IDL. Los valores de temperatura se convierten a grados Celsius. Finalmente, se apilan las bandas de VNIR, del TIR y de temperatura, re muestreando las últimas a un píxel de 30 m, para no perder la información de las bandas VNIR. Se tomaron 222.325 muestras de 4 imágenes ASTER diurnas con fechas 07/12/2018, 31/01/2019, 11/01/2020 y 04/01/2021, donde se observaron a.t.. Estas muestras se etiquetaron generando polígonos de áreas homogéneas a las cuales se les asignó una clase entre cuatro posibles: *agua*, con píxeles correspondientes a cuerpos de agua; *nieve*, con píxeles cubiertos por glaciares permanentes; *anomalías térmicas (a.t.)*, con píxeles que cubren regiones señaladas como tales por un experto; y *otra*, con píxeles que incluyen suelo desnudo, suelo vegetado o área urbanizada. Luego, se construyó un modelo SVM con núcleo lineal y costo de penalización igual a 1. Para su construcción se consideró el 80% de las muestras realizando validación cruzada con 10 *folds* y 3 repeticiones. La construcción y evaluación de la SVM se realiza aplicando rutinas en R.

3 Resultados y Discusión

El testeo llevado a cabo con el 20% de las muestras no usadas para la creación del modelo tuvo un 0,9945 de *Accuracy*. La Tabla 1 muestra la matriz de confusión para

las cuatro clases. La Fig. 2 muestra el resultado de aplicar el clasificador a una imagen ASTER diurna del 23/12/2018, pudiendo observarse que las clases *agua* y *otra* corresponden a las áreas más extensas y homogéneas. Se pueden observar regiones clasificadas como *agua*, correspondientes a píxeles de sombra, lo cual es esperable dado que la respuesta es-

Tabla 1. Matriz de confusión del modelo.

		Referencias			
		<i>a.t.</i>	<i>agua</i>	<i>nieve</i>	<i>otra</i>
Predicciones	<i>a.t.</i>	73	1	0	0
	<i>agua</i>	13	28767	107	32
	<i>nieve</i>	0	72	3685	1
	<i>otra</i>	12	30	38	22751

pectral de la sombra y el agua son similares. Los píxeles clasificados como *nieve* se muestran concentrados y se ubican sobre el área con cobertura nívica, siendo escasos los falsos positivos (FP). En cuanto a las *a.t.*, se observan sectores con presencia de FP, dado que las mismas deberían estar concentradas en el sector de la laguna cratérica. En la tabla 2 se observa el *Pecisión* y *Recall*, además del *Accuracy* de cada clase. Esto puede deberse al pequeño tamaño del área usada para definir el polígono, pudiendo incluirse píxeles del borde de otras clases.

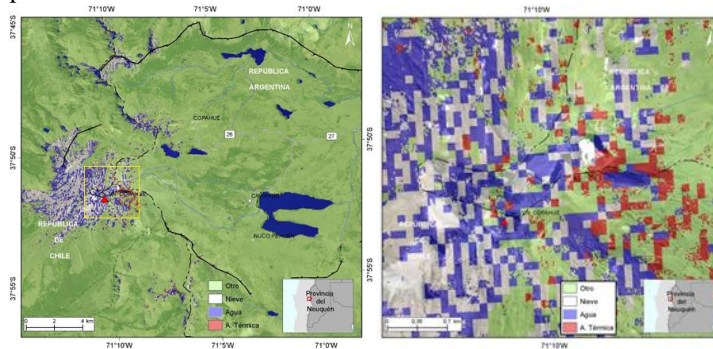


Fig. 2. Clasificación de SVM a la zona de interés (izq.) y en detalle de región con a.t. (der.).

Tabla 2. Tabla de parámetros *Precisión*, *Recall* y *Accuracy* por clase.

	<i>Precisión</i>	<i>Recall</i>	<i>Balanced Accuracy</i>
<i>a.t</i>	0,9048	0,8261	0,9130
<i>agua</i>	0,9941	0,9960	0,9948
<i>nieve</i>	0,9804	0,9520	0,9753
<i>otra</i>	0,9960	0,9987	0,9979

A futuro, se contempla la construcción de modelos SVM usando bandas TIR y T de ASTER, permitiendo la combinación con pasadas nocturnas y diurnas. Adicionalmente, se prevé usar imágenes Landsat las cuales también tienen bandas TIR. En ambos casos, se buscará comparar los resultados obtenidos con otros métodos alternativos.

Referencias

1. Flynn, L.P., Harris, A.J., Rothery, D.A., Oppenheimer, C.: High-spatial- resolution thermal remote sensing of active volcanic features using Landsat and hyperspectral data. *Geophysical Monograph-American Geophysical Union* 116, 161–178. (2000)
2. Blackett, M.: An overview of infrared remote sensing of volcanic activity. *Journal of Imaging* 3 (2). <https://doi.org/10.3390/jimaging3020013>. (2017)
3. Castro Godoy, S., Heredia, S., Wright, E., Pardo Duró, L. y Carballo, F.: Seguimiento satelital de anomalías térmicas en volcanes activos. XX Simposio Internacional SELPER “La geoinformación al servicio de un futuro sostenible para la sociedad”, 26 al 28 de octubre de 2022. Monterrey, México (2022).

4. Candela Becerra, L., Toyos, G., Suárez Herrera, C., Castro-Godoy, S. y Agosto, M.: Thermal evolution of the Crater Lake of Copahue Volcano with ASTER during the last quiescence period between 2000 and 2012 eruptions. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. 392. 10.1016/j.jvolgeores.2019.106752. (2019)