

Motivación

Las cenizas volcánicas poseen una potencial peligrosidad para la actividad aérea, mayormente en las zonas donde hay rutas aéreas adyacentes a volcanes activos, ya que pueden persistir por muchas horas o días en el aire y ser dispersadas a grandes distancias. Debido a las ubicaciones aisladas de muchos volcanes la teledetección juega un rol importante en el rastreo de estas nubes, producto de la dificultad de observaciones continuas de las mismas, utilizando herramientas que pueden distinguir estos fenómenos a partir de propiedades radiativas de las partículas de ceniza y SO2.

Objetivo Principal

El objetivo de este trabajo fue el poder detectar la emisión de ceniza volcánica (mediante la forma de pluma) y ver posible emisión de dióxido de azufre a través de adaptar las técnicas radioespectrales de distintos autores a tres casos de estudio de erupciones volcánicas en el nuevo satélite GOES 16. Los casos son de interés debido a que presentan distintos escenarios, con y sin la presencia de nubosidad, con distintos espesores y situaciones sinópticas variadas.

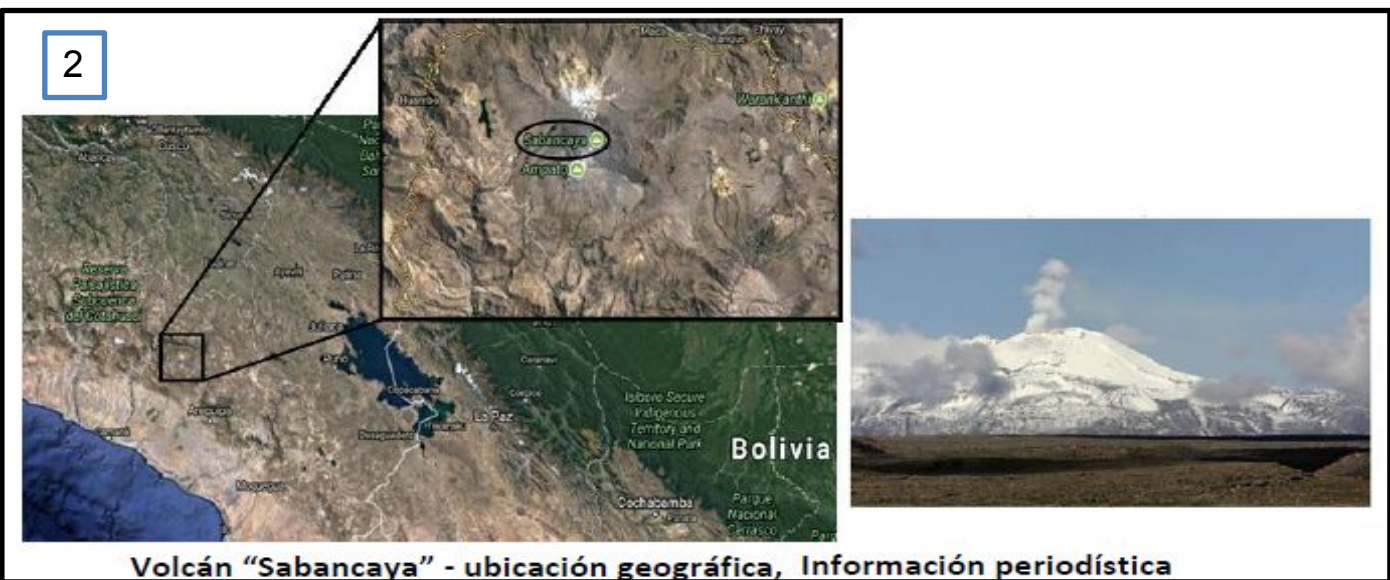
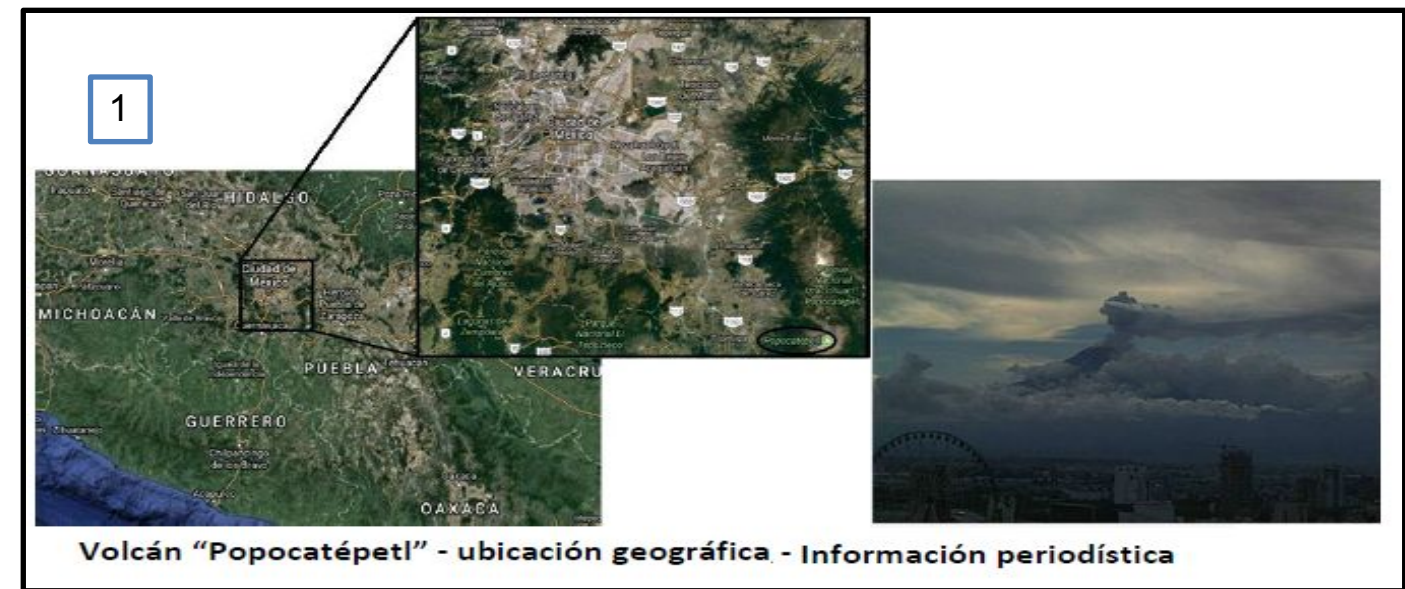
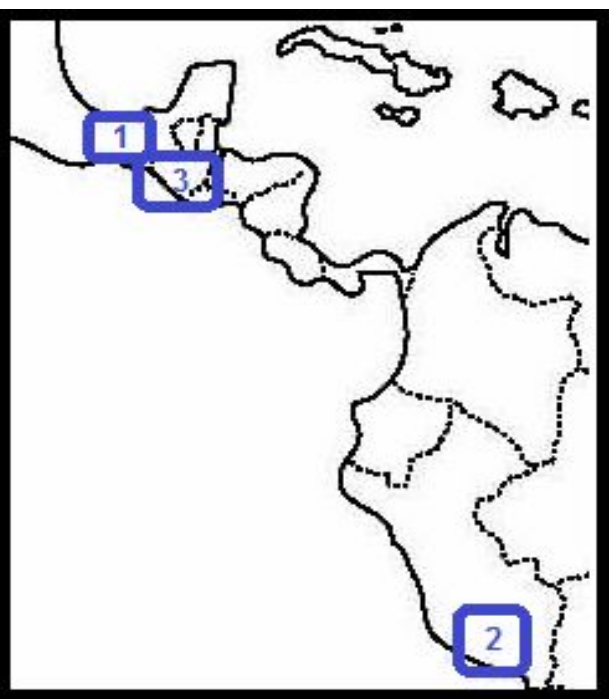
Experimentos

Utilizando datos de radianza, de los diferentes canales del radiómetro pasivo multispectral Advanced Baseline Imager (ABI) del GOES-16, para analizar tres casos de estudio de erupciones volcánicas que sucedieron durante el año 2017 y 2018 en el continente Americano.

Caso N°	Volcán	Fecha y hora aproximada del evento	Latitud	Longitud	Presencia/Ausencia de nubosidad
1	Popocatepetl (5500 msnm)	27/09/2017 (11 UTC)	19°01'20"N	98°37'07"O	Presencia
2		27/09/2017 (14 UTC)			Presencia
3	Sabancaya (5976 msnm)	30/08/2017 (17:15 UTC)	15°47'33"S	71°51'00"O	Ausencia
4		10/09/2017 (00:45 UTC)			Ausencia
5	de Fuego (3763 msnm)	03/06/2018 (19:00 UTC)	14°28'29"N	90°52'51"O	Presencia

Los dos primeros casos se estudiaron durante el día y la noche, por motivo de ver la respuesta de las cenizas ante la interacción solar o sin ella. Mientras que el último se estudió en la tarde de allí donde se generó la mayor erupción.

Dominios



Metodología

Técnicas

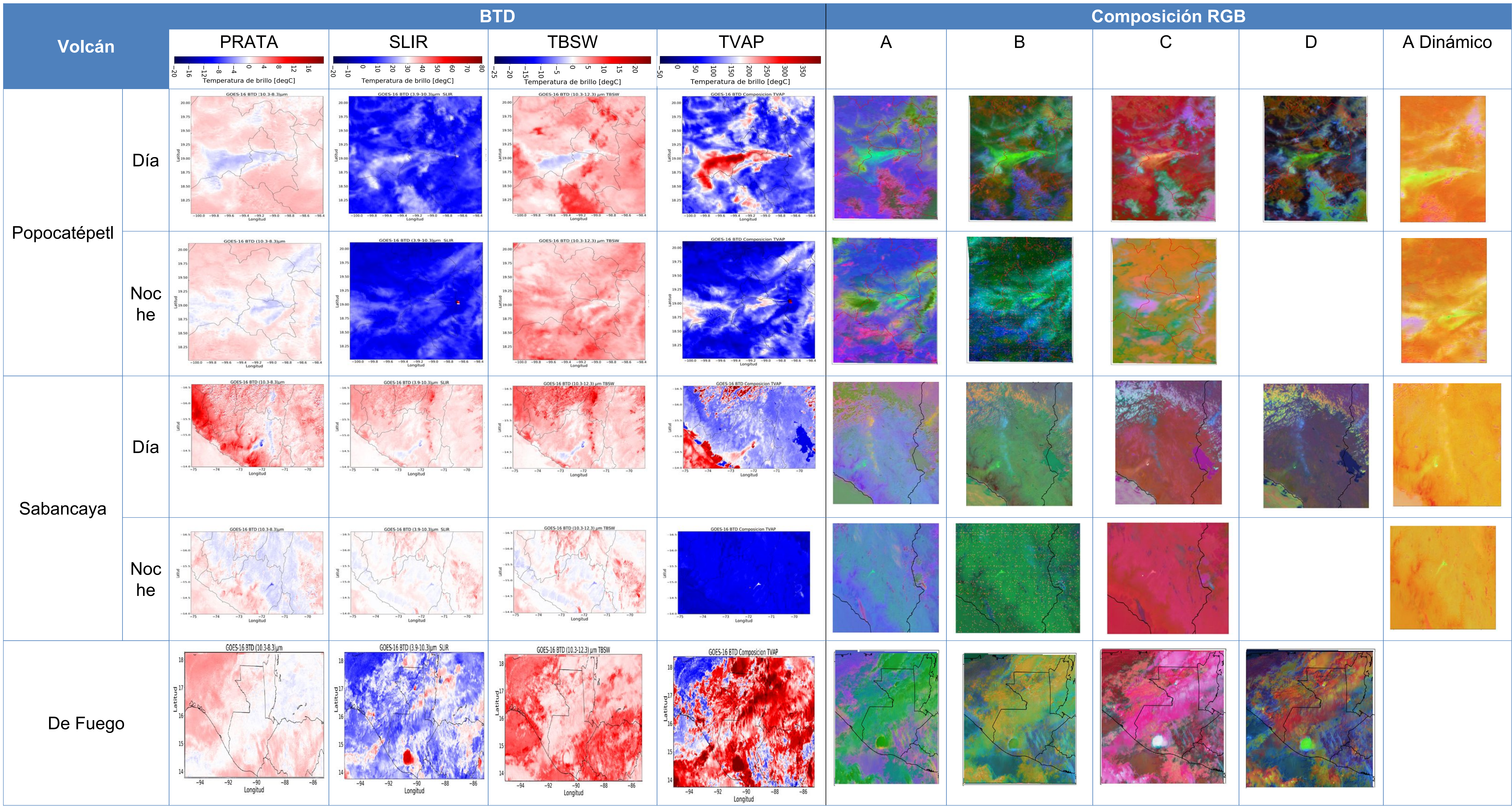
De los trabajos Ellrod et. Al (2003) y Prata et. Al (2009) se consideraron técnicas utilizando las denominadas diferencias de temperaturas de brillo (brightness temperature difference, BTD) con el fin distinguir las plumas volcánicas respecto de las nubes meteorológicas y las superficies tanto oceánicas como continentales.

	BTB	Criterio	Propósito
TBSW	$T_b(10.7\mu m)-T_b(12\mu m)$	BTB<0	Denotar presencia de ceniza
SLIR	$T_b(3.9\mu m)-T_b(10.7\mu m)$	SLIR>0 Día; SLIR=0 Noche	Denotar presencia de ceniza y nubosidad
TVAP	$60+10*[T_b(12.0\mu m)-T_b(10.7\mu m)]+T_b(3.9\mu m)-T_b(10.7\mu m)$	TBSW(invertida)>0 ceniza; SLIR>0 Día, SLIR=0 Noche	Determinación experimental de presencia de cenizas
PRATA	$T_b(10.7\mu m)-T_b(8.7\mu m)$	BTB<0	Testeo de cenizas y SO2

Se generaron imágenes en falso color (RGB) que permiten resaltar ciertas estructuras de interés para analizar simultáneamente la respuesta radiativa de múltiples herramientas espectrales permitiendo así tener una mejor discretización. En este caso se adaptó un RGB del Eumetsat al trabajo, modificando el rango dinámico de los colores de la siguiente manera y se propuso otra RGB a partir de modificar esta ultima el canal visible por el canal 10,7 micrones.

	RGB	Rango dinámico (del color)	Criterio
A	$R=T_b(10.3)-T_b(12.3); G=T_b(8.4)-T_b(10.3); B=T_b(10.3)$	$R:(0\% \text{ BTD}<0, 100\% \text{ BTD}>0); G:(0\% \text{ BTD}>0, 100\% \text{ BTD}<0); B:(0\% T_b \text{ menores, } 100\% T_b \text{ mayores})$	Ceniza volcánica (Verde claro), SO2 (Naranja intenso)
B	$R=T_b(0.86); G=T_b(8.4)-T_b(10.3); B=T_b(8.4)-T_b(12.3)$	$R:(0\% \text{ BTD}=0, 100\% \text{ BTD}=1); G:(0\% \text{ BTD}>0, 100\% \text{ BTD}<0); B:(0\% \text{ BTD}>0, 100\% \text{ BTD}<0)$	Ceniza volcánica (Verde), SO2 (Cian)
C	$R=T_b(12.3)-T_b(10.3); G=T_b(3.9)-T_b(10.3); B=[-T_b(10.3)]$	$R:(0\% \text{ BTD}<0, 100\% \text{ BTD}>0); G:(0\% \text{ BTD}>0, 100\% \text{ BTD}<0); B:(0\% T_b \text{ mayores, } 100\% T_b \text{ menores})$	Ceniza volcánica (rosa pálido-blanco), SO2 (magenta oscuro)
D	$R=T_b(0.86); G=T_b(3.9)-T_b(10.3); B=T_b(8.4)-T_b(12.3)$	$R:(0\% \text{ BTD}=0, 100\% \text{ BTD}=1); G:(0\% \text{ BTD}>0, 100\% \text{ BTD}<0); B:(0\% \text{ BTD}>0, 100\% \text{ BTD}<0)$	Ceniza volcánica (verde), SO2 (celeste)

Resultados



Observaciones importantes

- La actividad en el Sabancaya tuvo un efecto adicional dado por la presencia del anticiclón semipermanente del Pacífico, el cual generó una subsidencia de aire en altura relevando a la pluma a niveles cercanos a superficie. Esto mostró que en ausencia de nubosidad el contraste pluma-continente sea en el día mayor que en la noche, debido a los cambios térmicos de la superficie.
- Se pudo remarcar la región activa del volcán a través de la propiedad de “focos calientes” en la técnica SLIR.
- Es importante tener en cuenta que a medida que el espesor de la nube de cenizas disminuye se dificulta su distinción respecto de otros patrones tanto sea de nubes como de superficie que pueden encubirla.

Conclusiones Principales

- Las BTBs que resultaron más eficientes fueron las propuestas por Ellrod. Resaltan tanto las propiedades reflectivas como emisivas de la pluma.
- La técnica de Prata para la identificación de nubes de SO2 resultó ser más eficiente en ausencia de nubosidad ya que permiten distinguir la emisión del gas y la ceniza respecto de las de superficie.
- Las RGB, si bien resultan muy útiles para poder distinguir distintas estructuras atmosféricas y superficies, se concluye que la más eficiente en este trabajo fueron la RGB [A] y [D], permitiendo discretizar la pluma de cenizas y de SO2 respecto a la nubosidad presente en el dominio y a su vez discrimina entre los distintos tipos de esta última.
- En el caso volcán de fuego fue difícil distinguir el material volcánico de las nubes de convección profunda en dicho período, para ello se propone a futuro ver técnicas que ayuden a una discretización entre la convección profunda y las erupciones volcánicas.
- Se destaca una buena eficiencia de las técnicas propuestas en eventos de erupciones de intensidad débil o moderada considerados en este trabajo, ya que los mismos requieren de una rápida identificación que pueda ayudar a los tomadores de decisiones, principalmente en la aeronavegación.
- Por esto último resulta de gran importancia contar con mayor cantidad de casos de estudio en el futuro a fin de ver si las técnicas que consideramos como las más eficientes siguen presentando buenos resultados y además poder generar nuevas técnicas que permitan una mejor detección y un seguimiento para distintos escenarios.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Dra. Salio Paola y Lic. Cancelada Maite, de la Universidad de Buenos Aires por sus sugerencias y acompañamiento en la realización de este trabajo. Se agradece a Brian Blaylock, Department of Atmospheric Science, University of Utah, por proveer de forma abierta los datos del Geostationary Operational Environmental Satellite R Series (GOES-16)

Referencias

- Prata A. J.,1989b: “Infrared radiative transfer calculations for volcanic ash clouds”
Prata A. J.,2009: “Satellite detection of hazardous volcanic clouds and the risk to global air traffic”
Gary P. Ellrod, et al.,2003: “Improved detection of airborne volcanic ash using multispectral infrared satellite data”.