

# Identificación de transporte de ceniza volcánica de Montserrat (Sourfriere Hills) hacia Puerto Rico utilizando datos satelitales infrarrojos de MODIS

Fernanda Ramos Garcés<sup>1</sup>, Freddie Marfisi López<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Física, Universidad de Puerto Rico, Recinto Universitario de Mayagüez

<sup>2</sup>Departamento de Geología, Universidad de Puerto Rico, Recinto Universitario de Mayagüez

## Resumen

Las partículas volcánicas que salen hacia la atmósfera durante erupciones explosivas forman plumas y lluvias de cenizas, estas afectan las poblaciones en distintos modos como la seguridad de transporte aéreo. Se estudió el volcán Sourfriere Hills de la Isla de Montserrat ya que es el más cercano a Puerto Rico y además que se sabe de casos donde las cenizas del volcán de Montserrat han llegado a Puerto Rico. Estudio del transporte de cenizas del volcán Sourfriere Hills a Puerto Rico se utilizó el sensor MODIS del Satelite Terra. . Un detalle importante es que MODIS tiene dos satélites Terra y Aqua, los cuales se diferencian en el horario. La órbita de Terra viaja alrededor de la Tierra del norte al sur cruzando el Ecuador por la mañana, mientras que el Aqua viaja del sur al norte cruzando el Ecuador por la tarde. Para descargar las imagenes se accedio al enlace siguiente enlace de la nasa: <http://ladsweb.nascom.nasa.gov/> . Allí se seleccionó el satélite (Terra), la fecha (Octubre y Diciembre), el parametro (RGB) y buscar en el mapa el area que queriamos estudiar que para nuestra investigacion seria el Mar Caribe que es donde se encuentran ubicadas la Isla de Puerto Rico y la Isla de Montserrat.

## 1. Introducción

Las partículas volcánicas que salen hacia la atmósfera durante erupciones explosivas forman plumas y lluvias de cenizas. Las mismas forman una amenaza a las poblaciones cercanas, incluyendo daños por la inhalación de cenizas, perjuicios en zonas cultivada y en el ganado, interrupción de la red de caminos y disminución en la seguridad de transporte aéreo (Mulena, 2012). Es por eso se decidió realizar una investigación sobre el transporte de las cenizas utilizando imágenes satelitales. Se tomó en consideración el volcán Soufriere Hills de la Isla de Montserrat ya que es el más cercano a Puerto Rico y además que se sabe de casos donde las cenizas del volcán de Montserrat han llegado a Puerto Rico. El volcán Soufriere Hills es clasificado un estratovolcán que tiene varios cráteres y además una altura de 915m. La distancia entre Puerto Rico y el volcán de Montserrat es ~421.01km. Para realizar este estudio del

transporte de cenizas del volcán Soufriere Hills a Puerto Rico se utilizó el sensor MODIS. El sensor MODIS es un sensor que puede medir la temperatura de la superficie, el color del océano, la cartografía de la vegetación, las características de la nubosidad y las concentraciones de aerosoles, que es donde nos enfatizamos. Este sensor orbita a 705km de la Tierra, esta sincronizado con el sol y es “near polar”. En adicción a eso MODIS tiene 36 bandas las cuales se dividen para diferentes tipos de usos, algunos de estos son: Tierra, Nubes, Aerosoles Confinantes, Aerosoles Prósperos, Color del Océano, Fitoplancton, Biogeoquímica, Atmosfera, Vapor de Agua, Superficie, Temperatura, entre otros. Además las bandas de MODIS tienen diferentes tipos de resolución espacial: para las bandas (1-2) su resolución espacial es 250m, para las bandas (3-7) su resolución espacial es 500m y para las bandas (8-36) su resolución

espacial es 1000m. Un detalle importante es que MODIS tiene dos satélites Terra y Aqua, los cuales se diferencian en el horario. La órbita de Terra viaja alrededor de la Tierra del norte al sur cruzando el Ecuador por la mañana, mientras que el Aqua viaja del sur al norte cruzando el Ecuador por la tarde.

## **2. Metodología**

### *2.1 Adquisición de data meteorológica*

Para poder estar seguros de qué día hubo eventos de erupción del volcán Montserrat que afectaron a la isla asesamos la base de hecho se encontró en las advertencias emitidas por NOAA (en la base de datos de Washington VAAC). Cada una de las advertencias está acompañada por un modelo que contiene información de GOES-12 y GFS Winds.

### *2.2 Adquisición de imágenes de MODIS*

Para descargar las imágenes se accedió al siguiente enlace de NASA: <http://ladsweb.nascom.nasa.gov/> . Luego se marcó: *Images/ Granule Browser*. El

datos de Washington Volcano Ash Advisory Archive (VAAC). Los años donde se buscó data preliminar los fueron 2009 y 2010. Encontramos que hubo mayor actividad de ceniza en el área de Puerto Rico para el año 2009 por lo que decidimos escoger dos fechas de ese año. Las fechas escogidas fueron del 10-14 de octubre de 2009 y del 26-29 de diciembre de 2009. El primer evento fue un no significativo para Puerto Rico en comparación al evento de diciembre. Este siguiente paso fue seleccionar el satélite (Terra), seleccionar la fecha (Octubre y Diciembre), seleccionar el parámetro (RGB) y buscar en el mapa el área que queramos estudiar que para nuestra investigación (i. e. s donde se encuentra ubicada la Isla de Puerto Rico y la Isla de Montserrat). Finalmente se seleccionaba la imagen donde apareciera el área que necesitamos y la descargamos. La imagen descargada contenía las 36 bandas de MODIS subdividida en tres imágenes. Esta

imágenes se encontraban en la categoría de Emisividad, Reflectancia y Radiancia.

### 2.3 *Procesamiento de imágenes*

Las imágenes obtenidas de MODIS no se encontraban georreferenciadas, por lo que nuestro primer paso fue abrirlas en ENVI y georeferenciarlas. Para esto se hizo uso de la herramienta de ENVI de *Georeference MODIS*. Los parámetros estándares establecidos por ENVI fueron los utilizados para georeferenciar las imágenes. Sólo se georeferenciaron las imágenes de Emisividad y Refelectancia ya que éstas son las que contienen las bandas necesarias para realizar imágenes de color verdadero y las procesadas con la ecuación de Temperatura de Brillo que se discutirá más adelante. Luego de georeferenciar las imágenes pasamos a realizar imágenes de color verdadero. Para realizar estas se utilizó la imagen de reflectancia con las bandas de RGB 1,4,3, respectivamente. Luego, se le realizó un corte espacial en donde se pudiera

mostrar la isla de Puerto Rico y, si era posible, en algunos casos la isla Montserrat (no todas las imágenes que conseguimos mostraban la isla de Mntserrat). Una vez obtenida la imagen en formato JPEG de color verdadero pasamos a realizar la imagen con la ecuación de Temperatura de Brillo. A estas imágenes se también se le realizaron un corte espacial. Las bandas necesarias para la ecuación se encontraban en la imagen de emisividad de MODIS. Es así que se obtuvo la Temperatura de Brillo la cual se le conoce como *Three-band Volcanic Ash Product* (TVAP). Luego de realizar este proceso a imágenes del 10-14 de octubre de 2009 y del 26-29 de diciembre de 2009, escogimos las imágenes que nos servía para cumplir nuestros objetivos (i.e las imágenes donde se podía ver la isla de Puerto Rico). Estas imágenes fueron las del 12 para octubre y la de los días 27 y 28 para diciembre.

### 2.4 *TVAP y Temperatura de Brillo*

Como se discutió en la sección 2.3, para procesar las imágenes y obtener nuestro producto de TVAP se hizo uso de una ecuación sugerida por Ellrod et al. (2002).

Esta ecuación es la siguiente:

$$B = C + m1 (T5 - T4) + m2 (T2 - T4).$$

Esta ecuación fue realizada para que funcionara con imágenes del sensor GOES.

Sin embargo, Mulena et al. (2012) ajustaron la ecuación para que sirviera para imágenes de MODIS:

$$B = 60 + 10 (B32 - B31) + 1 (B22 - B31).$$

Aquí B representa la Temperatura de Brillo.

Es importante destacar lo siguiente:

“However, because of the complexity of radiative processes at 3.9 mm wavelength described in the previous section, especially during daylight hours, specific thresholds of B that distinguish volcanic ash from non-ash features have not been established. Rather, it is the relative value of B within an ash cloud compared to its surroundings that allows detection and discrimination” (Ellrod, 2002).

Es por esto que nuestro proyecto no se tendrá

valores específicos que nos dicte si lo que se observa en la imagen son nubes de ceniza volcánica o nubes meteorológicas.

### *2.5 Validación de imágenes con HYSPLIT*

Para poder comprobar que lo que se podía observar en las imágenes podría ser una combinación entre nubes meteorológicas y nubes de ceniza volcánica, se accedió al producto de ceniza volcánica de HYSPLIT. En esta página se encontraron varios modelos de trayectoria y dispersión para los eventos seleccionados. Se utilizaron las corridas de octubre 15 de 2009 y diciembre 28 de 2009.

## **3. Resultados**

### *3.1 Imágenes de diciembre*

En diciembre 27 de 2009 el Washington VAAC emitió una advertencia de que ceniza volcánica se dirige a la región de Puerto Rico (Figura 1). Observamos para la imagen de color verdadero del 27 de diciembre tonos de nubes más tenues cerca de Montserrat (Figura 2). Podemos asumir que estas son nubes compuestas de ceniza volcánica.

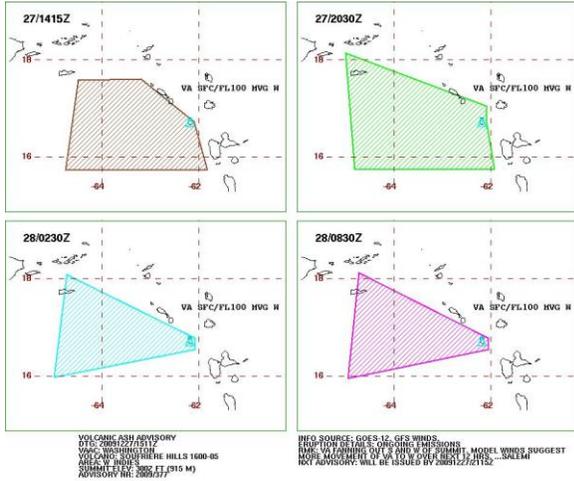


Figura 1. Advertencia del Washington VAAC del 27 de diciembre de 2009

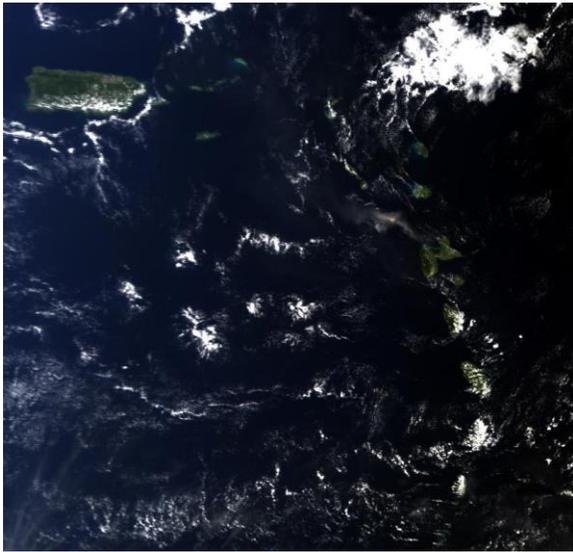


Figura 2. Imagen de color verdadero del 27 de diciembre de 2009

Para la imagen del mismo día, pero procesada para obtener el producto de TVAP vemos que aún se observan nubes meteorológicas. Sin embargo se distingue sobre Montserrat una

nube particular que pudiere ser la nube ser la ceniza volcánica (Figura 3).

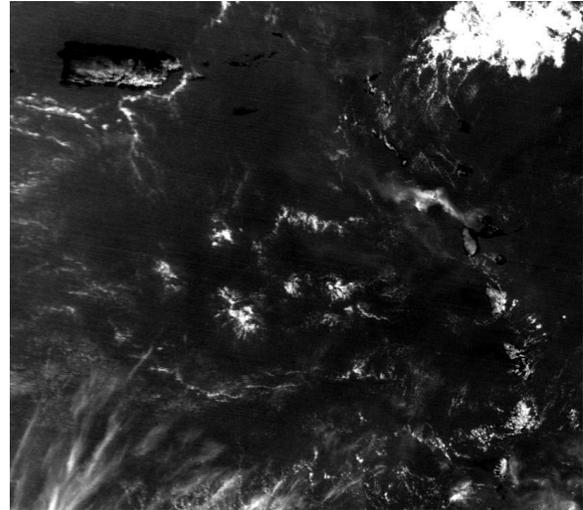


Figura 3. Imagen del producto TVAP del 27 de diciembre de 2009

En el caso de diciembre 28 de 2009 el Washington VAAC la advertencia seguía vigente para Puerto Rico (Figura 4). Ya estaba entrando a la isla esta nube de ceniza Si observamos la imagen de color verdadero (Figura.5) vemos muchas nubes meteorológicas cubriendo el área de Puerto Rico. Ahora, comparando esta imagen con la imagen procesada de TVAP podemos observar que la gran presencia de nubes atmosféricas hace imposible el poder discernir entre nubes que son representativas de ceniza volcánica a nubes meteorológicas

(Figura 6). Observamos en esta imagen como las nubes meteorológicas ahora toman colores más grisáceos en comparación al blanco que se observa en la imagen de color verdadero.

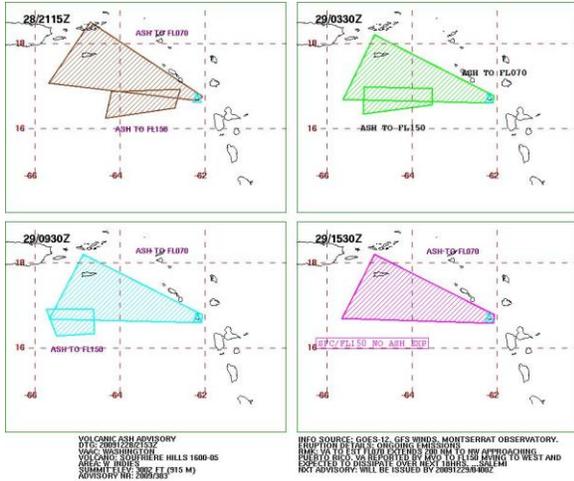


Figura 4. Advertencia del Washington VAAC del 28 de diciembre de 2009

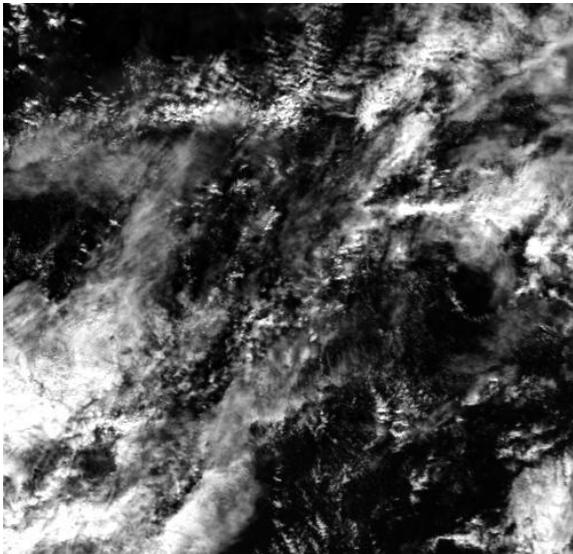


Figura 5. Imagen de color verdadero para el 28 de diciembre de 2009

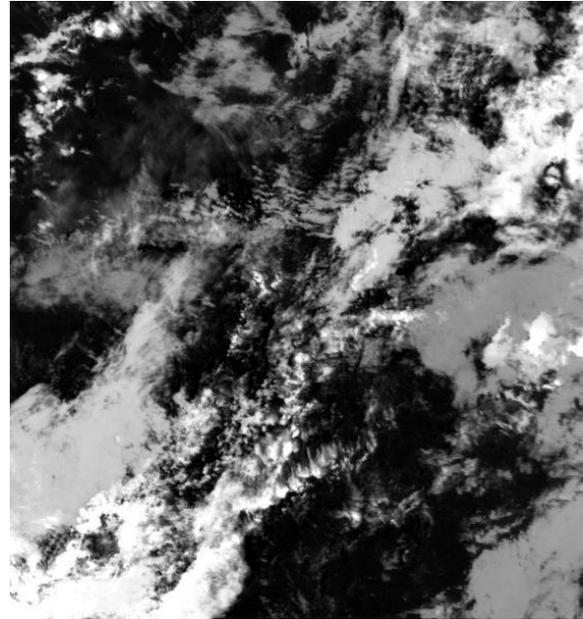


Figura 6. Imagen producto TVAP del 28 de diciembre de 2009

### 3.2 Imágenes de octubre

Para la fecha del 12 de octubre de 2009 el Washington VAAC emitió una advertencia de presencia de cenizas volcánicas para la región de Montserrat y lugares circundantes

(Figura 7).

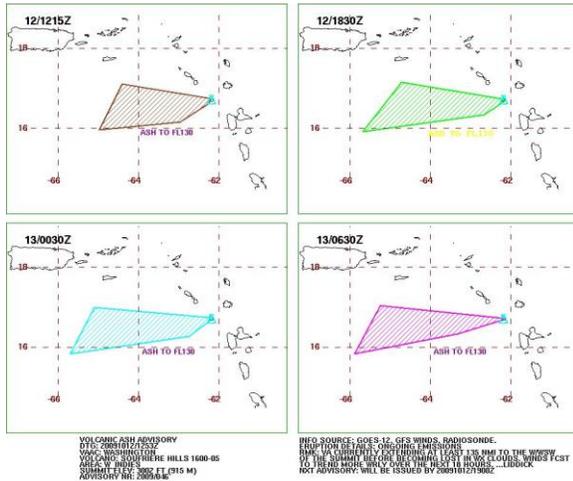


Figura 7. Advertencia del Washington VAAC para octubre 12 de 2009

En la imagen de color verdadero (Figura 8) para esta fecha podemos notar la presencia de gran nubosidad para la región de Puerto Rico. Sin embargo, cuando generamos el producto VAAC (Figura 9) observamos que no se obver gran diferencia entre las nubes meteorológicas a las nubes de ceniza

volcánicas.

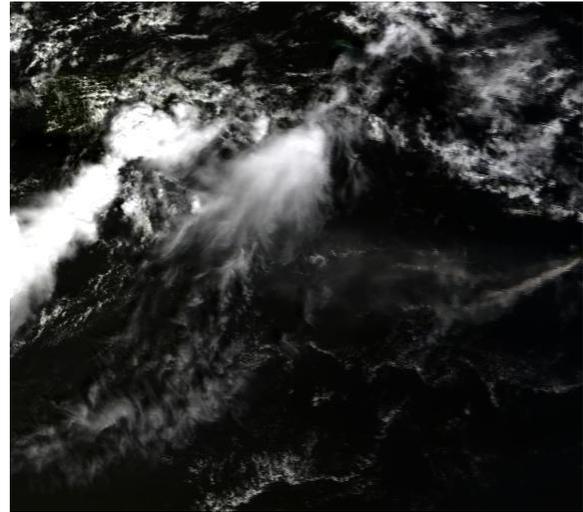


Figura 8. Imagen de color verdadero para el 12 de octubre de 2009

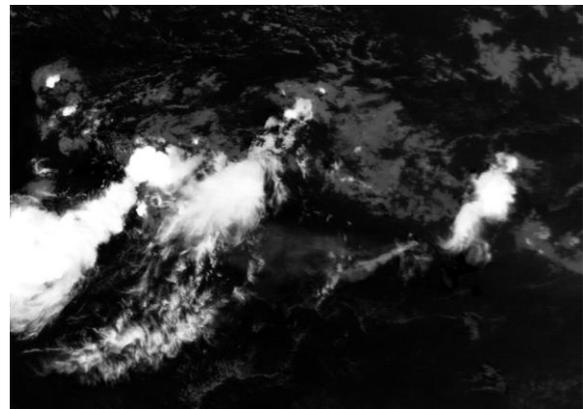


Figura 9. Imagen procesada de producto TVAP de octubre de 2009

### 3.3 Validacion de imágenes son HYSPLIT

La trayectoria que se obtuvo para el producto de ceniza volcánica fue obtenida en el site de HYSPLIT. Vemos que según HYSPLIT (Figura 10) la ceniza de volcán si llego a la isla. Esto significa que se deben estar observando nubes de ceniza de volcán para la

imagen procesada con la ecuación de Elrod et al. (2002). Sin embargo, para el caso de la trayectoria que dicta HYSPLIT vemos que para el caso de erupción en la fecha de octubre la misma se mantuvo al sur de Puerto Rico por lo que no afecto grandemente la isla (Figura 11).

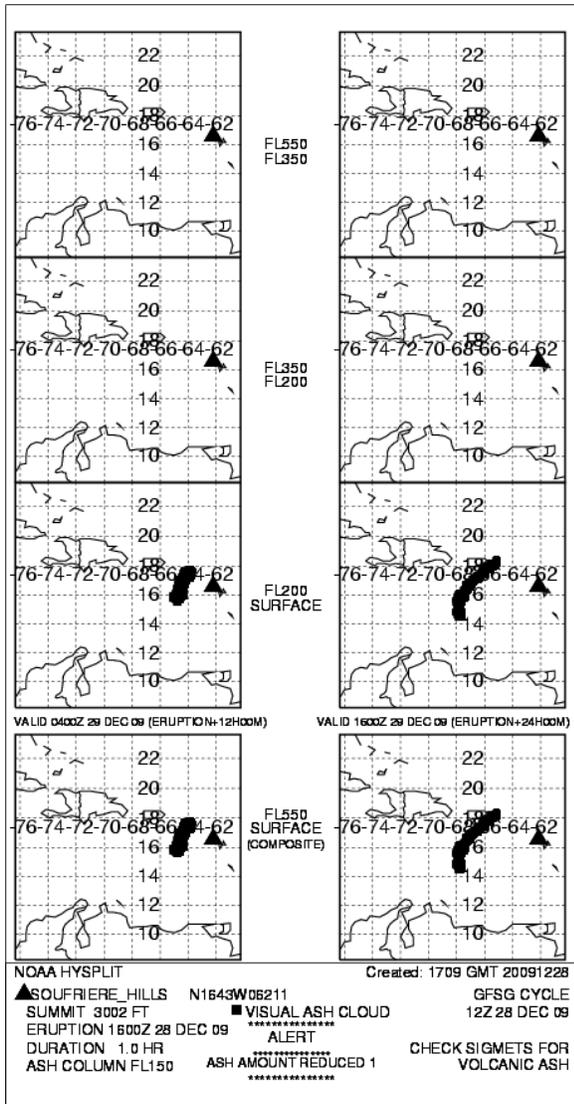


Figura 10. Modelo de trayectoria para HYSPLIT el día 15 de octubre

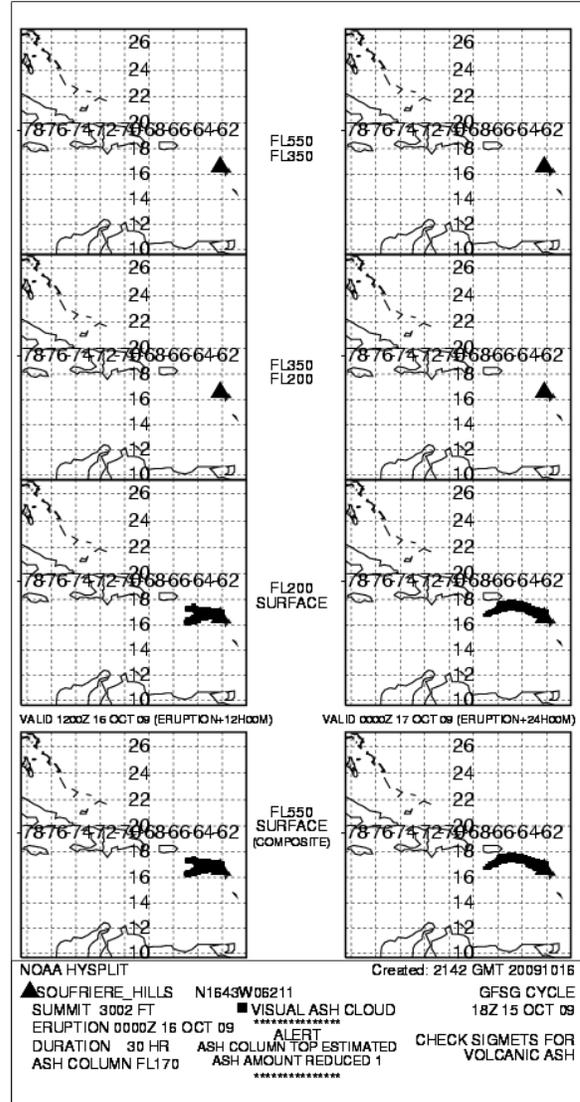


Figura 11. Modelo de trayectoria de HYSPLIT para ceniza volcánica del 28 de diciembre del 2009

#### 4. Conclusiones y Recomendaciones

En este trabajo hicimos uso de la ecuación establecida por Elrod et al. (2002) que alega servir para poder discernir entre nubes meteorológicas y nubes de ceniza volcánica.

En nuestra investigación no observamos una

gran discrepancia entre esas nubes para las imágenes halladas. Entendemos que esta ecuación pudo haber sido tomada en consideración para casos donde no hubiera tantas nubes meteorológicas. Es por esto que encontramos con nuestro trabajo que esta ecuación es deficiente a la hora de discernir entre estos dos tipos de nubes cuando hay gran presencia de nubes atmosféricas en el área.

Dentro de las recomendaciones sugerimos que se trabajen con imágenes de un sensor que colecte imágenes de noche para así hacer una comparación más directa al trabajo realizado por Ellrod et al. (2002). También recomendamos que se trabaje con una resolución temporal mayor para así observar desde el inicio de la erupción hasta el momento en que la nube de ceniza desaparezca del área de estudio para poder generar un tipo de trayectoria de la misma a través de imágenes satelitales. Siguiendo esta misma línea también sugerimos que se

analice la meteorología (i.e. condiciones del tiempo) para las fechas del estudio para así poder tener un mejor trasfondo de la cobertura de nubes que habrán en la zona.

## **Referencias**

Ellrod, G., Connell, B., Hillger D., 2002, Improved detection of airborne volcanic ash using multispectral infrared satellite data, *J. Geophys. Res.*, V. 108, doi:10.1029/2002JD002802, 2003.

Gangale, G., A.J. Prata, L. Clarisse The infrared spectral signature of volcanic ash determined from high-spectral resolution satellite measurements, *Remote Sensing of Environment*, Volume 114, Issue 2, Pages 414-425

Maccherone, B., Frazier, S., National Aeronautics and Space Administration (NASA) <http://modis.gsfc.nasa.gov/about/specifications.php>

Mulena, C., Allende, D., Puliafito, E., Lakkis, G., 2012 Estudio de la dispersión de cenizas volcánicas del Puyehue: Simulaciones y Validación. Consejo

Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (conicet). Facultad de Ciencias Agrarias, Pontificia Universidad Católica Argentina (UCA), Cap. Gral. Ramón Freire 183.

Pergola, N., Tramutoli, V., Marchese, F., Scalfidi, I., Lacava, T., 2003, Improving volcanic ash cloud detection by a robust satellite technique, National Research Council, Institute of Methodologies of Environmental Analysis, Remote Sensing of Environment 90 (2004) 1 – 22