

Análisis del comportamiento de flujos piroclásticos en la deflexión del río Barranco en el volcán Galeras, Colombia

Pablo Gallardo¹, Carlos Patiño¹, Gustavo Cordoba¹

¹ Universidad de Nariño, Pasto, Colombia – pgallardo.geo@outlook.es

Palabras clave: Corrientes de Densidad Piroclástica, Surge, Alto Topográfico, Deflexión.

Introducción

Dentro de los fenómenos asociados a las erupciones volcánicas, las Corrientes de Densidad Piroclástica (PDC por sus siglas en inglés) son uno de los fenómenos más peligrosos para las poblaciones ubicadas en las cercanías a los volcanes debido a su velocidad de propagación y altas temperaturas. Los PDCs son corrientes de gravedad cargadas de partículas y gases volcánicos provenientes del vento, conducto y el sustrato, lo que les vuelve más densas que la atmósfera y que se desplacen por las laderas del volcán alejándose de su fuente de emisión. Los PDCs están compuestos básicamente por dos fases, la parte concentrada que se distribuye en zonas proximales del volcán y la parte diluida (surge) que puede viajar incluso varios kilómetros

El Complejo Volcánico Galeras (CVG) está conformado por calderas pequeñas, conos de escoria y un volcán compuesto denominado volcán Galeras que es el actualmente activo Calvache (1990).

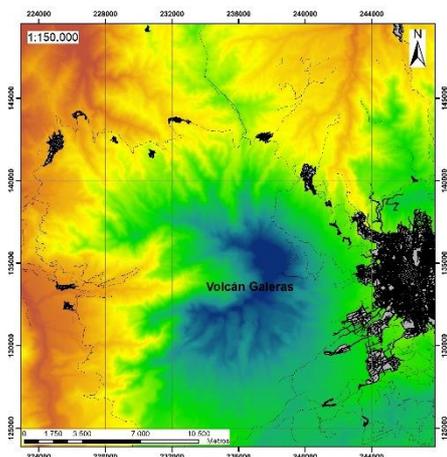


Fig. 1 – Ubicación del volcán Galeras y principales poblados en su área de influencia. La ciudad San Juan de Pasto está ubicada al Este de Galeras. Proyección: UTM; Datum: WGS84; Zona: 18N.

La morfología del CVG, da muestra de su evolución e historia eruptiva, y según Calvache (1990) este complejo presenta 6 etapas importantes denominadas Cariaco (1.1 Ma), Pamba (< 700 Ma), Coba Negra (560 ka), Jenoy (150-40ka), Urcunina (12-5 ka) y Galeras (<4.5 ka). Durante la etapa Urcunina su cima colapsó dejando un anfiteatro

abierto hacia el occidente (Fig. 1). Se puede evidenciar el colapso por los depósitos de flujos de bloques y ceniza, y avalanchas de escombros depositados al oeste del Complejo con una clara muestra de alteración hidrotermal. A lo largo de los diferentes cortes de vías, principalmente ubicadas en el sector Norte y Noroccidente del volcán se pueden apreciar varios afloramientos con depósitos distales (caídas de ceniza y surge) que dan muestra de una serie de eventos eruptivos del volcán Galeras.

El volcán Galeras se encuentra ubicado en el departamento de Nariño al SW de Colombia, en la depresión interandina Cauca-Patía entre las cordilleras Occidental y Central a 9 km al occidente de la ciudad San Juan de Pasto, centro poblado más importante del sur del país (Fig. 1) Servicio Geológico Colombiano (2015).

En la parte norte del volcán nace un drenaje llamado El Barranco, que tiene rasgos morfológicos que a lo largo de su trayectoria muestran la influencia que ha tenido el volcán y la actividad tectónica de la zona. Este río tiene una dirección preferencial S-N. Aproximadamente a 7,7 km desde su nacimiento presenta una deflexión hacia el Oeste en un ángulo de 90°, atravesando el poblado de La Florida a 4 km aguas abajo desde la deflexión (Fig. 2).

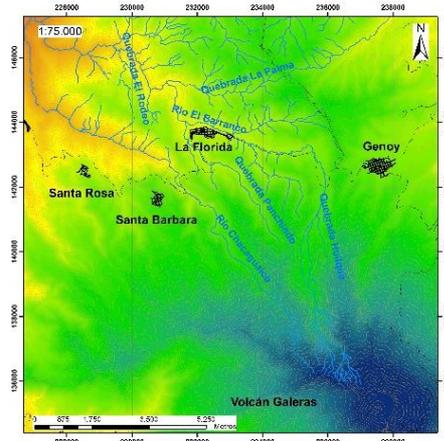


Fig. 2 – Ubicación del río El Barranco, vías principales y poblados. Proyección: UTM; Datum: WGS84; Zona: 18N

Descripción de puntos de control

Los procesos constructivos-destructivos de domos del volcán Galeras de acuerdo a Calvache (1990) en García Gallo et al., (2011), han establecido varias sucesiones estratigráficas que se pueden observar a lo largo de los afloramientos distribuidos en los alrededores del volcán (Fig. 3). Muchos de estos afloramientos han sido afectados por procesos exógenos que dificultan observar la secuencia estratigráfica completa, evidenciando el poder erosivo del sector.

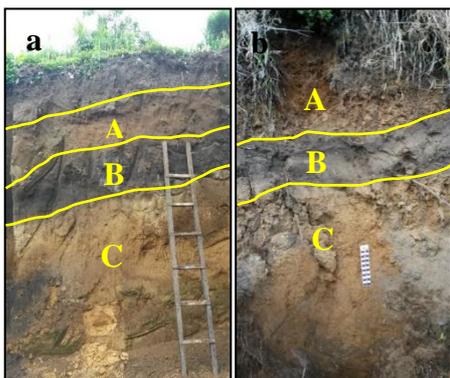


Fig. 3 – a) Columna estratigráfica en el punto de control de coordenadas. Longitud: 77°24'25,4"; Latitud: 1°17'59,6"; Altura: 2184±4 msnm. Punto ubicado en La Florida. b) Columna estratigráfica en el punto de control de coordenada. Longitud: 77°22'16,5"; Latitud: 1°17'36,12"; Altura: 2473 ± 3 msnm.

Los horizontes de estos afloramientos presentan características muy similares, teniendo depósitos limo-arcillosos hasta arcillosos de color amarillento algunos con tonalidades rojizas debido a la oxidación. Además, presentan un cierto porcentaje de líticos y carbón orgánico. Los minerales que conforman cada uno de los horizontes presentan características particulares. Por ejemplo, en la figura 3a en el contacto entre el horizonte C y B, una capa delgada de un depósito con alto contenido de biotita. Este depósito no corresponde a la actividad del volcán Galeras sino más bien a una actividad ácida posiblemente de un volcán relativamente cercano. Los horizontes A, B y C, corresponden a diferentes eventos eruptivos del volcán Galeras

El área de influencia de la cuenca del río El Barranco tiene 11,56 km² aproximadamente hasta el casco urbano, donde se puede apreciar una serie de depósitos volcánicos primarios que han modificado la morfología de la cuenca. Desde una zona alta se observa como la cuenca ha sido rellenada dando la apariencia de un valle en "U". Varios afloramientos evidencian los diferentes eventos sucedidos al largo de la historia, desde avalanchas de escombros hasta depósitos coluviales que han viajado aguas abajo. En trabajos previos de modelamientos de PDCs se ha demostrado que existe una alta posibilidad de que se

desplacen por la cuenca del río El Barranco dependiendo del tipo de erupción que se genere.

Volúmenes de PDCs

Para el volcán Galeras se ha calculado un volumen de depósitos de 0,7 km³ basado en los mapas de distribución y los espesores de cada uno de los miembros caracterizados (Tabla 1) Calvache, (1990).

Miembro	Volumen Total (m ³)
4500 ybp	8.653.000
4000 ybp	1.186.000
2900 ybp	1.331.000
2300 ybp	2.086.000
1100 ybp	1.127.500
1986	2.893.000

Tabla 1 – Volúmenes de flujos piroclásticos Calvache, (1990).

Es en base a la distribución de cada uno de estos miembros y a diferentes simulaciones numéricas que se ha realizado varias versiones del mapa de amenazas del volcán Galeras Servicio Geológico Colombiano, (2015) (Fig. 4). En varias versiones, la cuenca del río El Barranco es una zona de amenaza alta por el peligro de PDCs que pueden llegar hasta la deflexión del río.

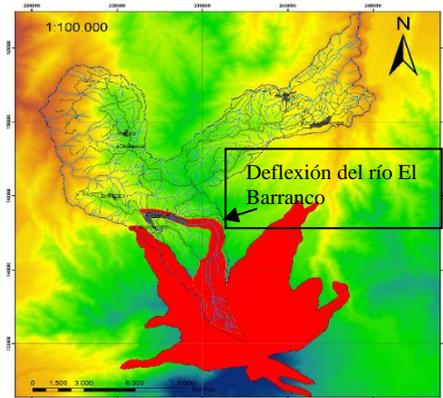


Fig. 4 – Área de influencia para amenaza alta por flujos piroclásticos Servicio Geológico Colombiano, (2015). Proyección: UTM; Datum: WGS84; Zona: 18N

En simulaciones realizadas por García Gallo et al. (2011) con el código TITAN 2D, se ha tomado en consideración volúmenes de PDCs correspondientes a un valor mínimo de 100.000 m³ y un valor máximo similar al del Miembro 2300 (Tabla 1) de 2.000.000 m³ tomando en cuenta el comportamiento vulcaniano del volcán Galeras con alturas de colapso de columna

eruptiva de hasta 200 m. En la mayoría de los resultados los PDCs no alcanzan la deflexión del río Barranco. Además, siguiendo el concepto de línea de energía para varios eventos posibles de colapso de columna se obtuvieron coeficientes de Heim en un rango entre 0,157 a 0,185 Sheridan y Macias (1995). Estos valores de coeficientes permitieron obtener probabilidades de 2% hasta 3,5% de que un PDC alcance la deflexión del río El Barranco y supere el alto topográfico (Fig. 5).

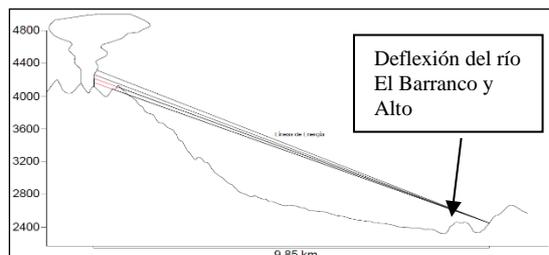


Fig. 5 – Corte S-N del volcán Galeras y líneas de energía para eventos de colapso de columna eruptiva de 50, 100, 150 y 200 m trazadas hasta superar el alto topográfico de la Deflexión del río El Barranco

Simulaciones con OpenFOAM

Además de las simulaciones realizadas con el código TITAN 2D, se corrieron varios procesos con el código OpenFOAM con el fin de entender el comportamiento de un PDC en el caso de que alcance la deflexión del río El Barranco y sobrepase su barrera topográfica. OpenFOAM permite dar solución a problemas mecánicos de medios continuos incluida la mecánica de fluidos.

Procesamiento de la Información

Para el procesamiento de la información se utilizó el solver “twoPhaseEulerFoam” que analiza dos fases de fluido incompresible utilizando las ecuaciones de conservación de Euler. La modelación numérica consta de 3 etapas: pre-procesamiento, solución de ecuaciones y post-procesamiento. En los modelamientos bifásicos realizados, se consideraron parámetros de entrada básicos con el fin de que se acerquen a la realidad, una fase discreta (fase sólida) con un tamaño de partícula de 3×10^{-4} m y una fase continua (aire). Al tratarse de modelamientos de prueba, algunas de las propiedades de las partículas numeradas por el software se las tomo como válidas dejando un grado de incertidumbre, se debe definir las propiedades termofísicas de las partículas como: *Propiedades de Tipo* (Peso por mol), *Propiedades Termodinámicas* (Calor específico) y *Propiedades de transporte* (Viscosidad y Presión relativa); además se debe definir una densidad.

Variables consideradas para los modelos

Debido a las características físicas de los flujos piroclásticos, resulta complejo reproducirlos con un grado de incertidumbre bajo, las características físicas tomadas en cuenta para los modelos realizados fueron: concentración en porcentaje de las partículas de la fase discreta, temperatura de las fases y velocidad inicial. Como modelos iniciales la temperatura de las fases se las consideró como un comportamiento isotérmico y la velocidad inicial en cero, el único parámetro que se varió fue la concentración de las partículas con un diámetro único teniendo concentraciones de sólidos de 1%, 10%, 25% y 55% (Fig. 6).

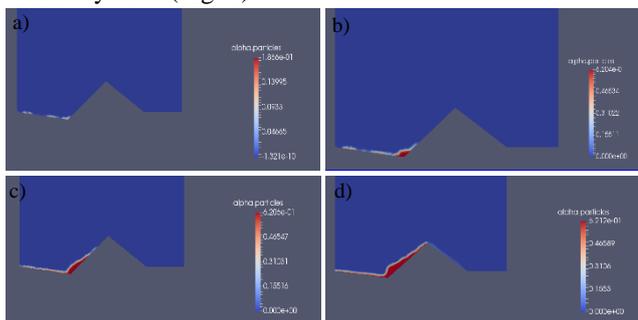


Fig. 6 – Esquemas de desplazamiento de la mezcla bifásica y su comportamiento frente un “alto topográfico” a) 1% de concentración de sólidos; b) 10% de concentración de sólidos; c) 25% de concentración de sólidos y d) 55% de concentración de sólidos

Hay que tomar en consideración que los modelamientos realizados son en 2D por lo que no podría mostrar el comportamiento real del flujo frente a los cambios topográfico. Sin embargo, se puede determinar la variación de la concentración del flujo conforme se aleja de su fuente de emisión. En el caso de la Fig. 6a se observa que la concentración de partículas baja considerablemente conforme avanzó el flujo, esto se podría interpretar en el caso de un flujo piroclástico el avance del surge; la Fig. 6d muestra una acumulación en la ladera del alto topográfico incluso produciéndose un retroceso y una acumulación en la parte baja. Sin embargo, un cierto porcentaje del flujo de baja concentración logra sobrepasar el alto topográfico interpretándose como el avance del surge. El objetivo de estas simulaciones es conocer el avance del flujo y su comportamiento frente a pequeños obstáculos en su trayectoria, cual es la variabilidad de las concentraciones y su ubicación a lo largo del perfil.

Resultados

La morfología de la cuenca del río El Barranco presenta evidencias de una intensa actividad geológica dominada principalmente por la actividad del volcán Galeras. Se puede evidenciar una serie de afloramientos que van desde depósitos de avalanchas posiblemente debido a la actividad tectónica y alteración hidrotermal hasta depósitos de PDCs.

Los depósitos de avalancha son clasto-soportados con una matriz limo-arenosa, la composición de los clastos es andesítica con una textura porfídica con presencia de plagioclasas zonadas, anfíboles y piroxenos distribuidos en una matriz de plagioclasa y vidrio volcánico. Los afloramientos de avalanchas presentan una ligera imbricación indicando la dirección del flujo. Los cortes de PDCs presentan básicamente 3 horizontes (Fig. 3). Los tres son depósitos que van desde limo-arcillosos hasta arcillosos con colores amarillos y presentan tonalidades rojizas probablemente debido a la oxidación, presentan líticos dispersos de pómez y cristales de minerales siálicos y máficos. Cada uno de estos horizontes presentan además carbón orgánico disperso en diferentes porcentajes.

En base a la caracterización geológica del volcán Galeras realizada por Calvache (1990), su definición de los diferentes miembros que conforman el Complejo Volcánico Galeras (CVG) y tomando en cuenta trabajos de modelamiento de flujos piroclásticos en volcanes de comportamiento vulcaniano, se establecieron volúmenes de posibles eventos futuros clasificados como volúmenes mínimos, intermedio, máximo y extremo con valores de 500.000 m³; 1.300.000 m³; 3.000.000 m³ y 8.500.000 m³ respectivamente. Basándose en el concepto de línea de energía se determinó el coeficiente de Heim ($\mu = H/L$) para eventos de colapso de columna eruptiva que van desde un desbordamiento de material a partir del borde del anfiteatro y alturas de 50 m, 100 m, 150 m y 200 m de altura; obteniéndose valores en un rango que van desde un mínimo de 0,157 hasta un máximo de 0,185 correspondiente a valores por debajo de los establecidos para flujos de baja densidad.

Los puntos de inicio y fin del corte topográfico (9,85 km) se los determinó con el fin de obtener la probabilidad de que un flujo supere el alto topográfico de la deflexión del río El Barranco (Fig. 5), los ángulos obtenidos a partir de (μ) se encuentran en un rango de 9° a 10,39° que comparándolos a los utilizados en trabajos previos y a los establecidos por Stinton et al. (2004) en Enríquez (2012) y García Gallo et al. (2011) corresponde a un material de superficie de depósitos glaciofluviales.

Los coeficientes de Heim (μ) obtenidos se proyectaron en el gráfico que muestra las distribuciones del coeficiente de Heim seguido en la

metodología aplicada por Sheridan y Macias (1995), basada en determinar la amenaza probabilística provocada por flujos piroclásticos a partir de líneas de energía, este método se lo obtuvo en el estudio del volcán Colima en el estado de Jalisco (México), las probabilidades se encuentran en un rango con un valor mínimo de < 2% hasta un máximo 3,5%.

En varias simulaciones preliminares utilizando OpenFOAM se observó el posible avance que tendría un flujo piroclástico tomando en cuenta ciertas variables como concentración en (%), temperatura de las fases y velocidad inicial. Se modeló variando la concentración de sólidos en porcentajes de 1, 10, 25 y 55 por ciento; observando que para cada concentración el avance del flujo es significativo. El avance del flujo en el caso de concentración de 1% de sólidos (Fig. 6a), se mueve hasta la mitad del corte aproximadamente donde existe un desprendimiento de una fase menos concentrada interpretada como el surge, en el caso de las concentraciones de 10%, 25% y 55% se observa que alcanza el alto topográfico existiendo una acumulación de una parte más densa en la base de la ladera, en los resultados de mayor concentración (55%), una parte del flujo menos denso sobrepasa el alto topográfico teniendo un avance considerable. Hay que tomar en cuenta que esta parte menos densa desprendida de sección más concentrada es necesario un post-procesamiento porque puede deberse únicamente a cálculos matemáticos generados por el software que hay que discriminar.

Referencias

- Calvache, M. (1990). *Geology and Volcanology of the Recent Evolution of Galeras Volcano, Colombia*. Louisiana State University.
- Enríquez, J. E. I. (2012). Dinámica de flujo de lodos. *Unimar*, 43–54.
- García Gallo, A. M., Murcia Agudelo, H. F., Cortés Jiménez, G. P., & Laverde, C. A. (2011). Simulación de flujos Piroclásticos en el Volcán Galeras con el Código TiTAN2D. *Geología Colombiana*, 2011, 36(1), 135–161. <https://doi.org/10.15446/gc>
- Montenegro, O. D. C., & Coral, I. D. M. (2013). Análisis Probabilístico por Flujos Piroclásticos en el Área de Influencia del Volcán Azufral - Departamento de Nariño, 76.
- Servicio Geológico Colombiano. (2015). *Actualización Del Mapa De Amenaza Volcánica Del Volcán Galeras – Colombia*. Pasto, Colombia. Retrieved from a_Volcanica_Volcan_Galeras_2015.pdf