

# Erupciones Recientes del Volcán Nevado del Huila: Lahares Asociados y Cambios Morfológicos del Glaciar

## RECENT ERUPTIONS OF NEVADO DEL HUILA VOLCANO: ASSOCIATED LAHARS AND MORPHOLOGICAL CHANGES OF THE GLACIER MASS

BERNARDO **Pulgarín**  
CARLOS **Cardona**  
ADRIANA **Agudelo**  
CRISTIAN **Santacoloma**  
MARÍA LUISA **Monsalve**

MARTA **Calvache**  
CARLOS **Murcia**  
MARIO **Cuéllar**  
ENIF **Medina**  
RENY **Balanta**

YOLANDA **Calderón**  
ÓMAR **Leiva**  
MILTON **Ordóñez**  
DIEGO **Ibáñez**<sup>1</sup>

### Resumen

El volcán Nevado del Huila (5364 msnm), localizado en el SW colombiano y sobre la cordillera Central, está conformado en su cima por cuatro picos nevados. La única actividad histórica conocida de este volcán había estado relacionada con aguas termales, actividad fumarólica y baja actividad sísmica instrumental, hasta las erupciones que tuvieron lugar el 19 de febrero de 2007, 18 de abril de 2007 y el 20 de noviembre de 2008, a las que estuvieron asociadas columnas de ceniza, emisiones de gases y lahares primarios de diferentes magnitudes, que afectaron el valle del río Páez y las poblaciones asentadas en este. Las alturas de inundación y los volúmenes de estos lahares aumentaron en cada una de las sucesivas erupciones. Las velocidades alcanzadas por estos lahares variaron considerablemente y los tiempos de llegada a la represa de Betania estuvieron entre 10 y 8 horas aproximadamente. Con estas erupciones, se produjeron también notables cambios sobre la masa glaciar del volcán (grandes fracturas, escalonamiento y basculamiento de bloques de hielo, fusión de hielo-nieve, etc.), notándose un drástico retroceso en el área glaciar durante toda esta etapa de reactivación. Luego de la erupción del 20 de noviembre de 2008, se comenzó a formar un cráter sobre el área glaciar, entre los picos Central y Sur, sobre el que se está emplazando un domo. Con esta reactivación del volcán y el desarrollo actual del domo, se mantiene la expectativa en los valles de los ríos Páez, Símbola y Magdalena, por la ocurrencia de nuevos lahares que puedan afectar las diferentes poblaciones asentadas allí.

### Palabras clave

Volcán, nevado, Huila, lahar, erupción, glaciar.

### Abstract

Nevado del Huila Volcano (5364 masl), located in SW Colombia, on the Central Range, is made up by four ice capped peaks in its top. The only known historical activity of this volcano has been related with hot springs, fumaroles and low instrumental seismic activity until the eruptions of February 19 2007, April 18 2007 and November 20 2008 took place. Ash columns, gas emissions and primary lahars of different magnitude were associated to these eruptions, affecting the Páez river valley and towns settled into it. Inundation heights and volumes of the lahars increased in each of the successive eruptions. Velocities reached by the lahars considerably varied and arrival times to the Betania Reservoir were approximately between 10 and 8 hours. With these eruptions, notable changes were also produced on the volcano's glacier mass (large scale cracks, blocks echeloning and tilting, ice-snow melting, etc.), showing a drastic receding in the glacier area during all this reactivation stage. After the November 20, 2008 eruption, a crater on the glacier area began to develop between the Central and South peaks and a dome is being emplaced into it. With both the volcano reactivation and the dome growing, expectation on the Páez, Símbola and Magdalena rivers valleys is maintained because of the possible occurrence of new lahars that can affect them.

### Key words

Volcano, ice capped, Huila, lahar, eruption, glacier.

Artículo recibido el 29 de agosto del 2009. Aprobado el 16 de diciembre del 2009.

1 Servicio Geológico Colombiano, bpulgarin@sgc.gov.co, aagudelo@sgc.gov.co, csantacoloma@sgc.gov.co, mmonsalve@sgc.gov.co, mcalvache@sgc.gov.co, mcuellar@sgc.gov.co, emedina@sgc.gov.co, mordonez@sgc.gov.co, dibañez@sgc.gov.co

## Objetivo

El presente trabajo tiene como finalidad presentar algunas generalidades sobre la geología del volcán Nevado del Huila y su retroceso glaciar, así como mostrar detalles del proceso eruptivo, los lahares producidos y los cambios morfológicos tanto en la masa glaciar como en el edificio volcánico, relacionados con las erupciones recientes, ocurridas en 2007 y 2008.

## Introducción

El volcán Nevado del Huila (Pulgarín et ál. 2001, Correa & Pulgarín, 2002, Correa, 2009) con 5364 msnm (de acuerdo con restitución mediante fotogrametría analítica digital, realizada por Pulgarín et ál. (1996; 2007), está ubicado sobre la cordillera Central de Colombia, en límites entre los departamentos de Cauca, Huila y Tolima, en coordenadas geográficas 2° 53' de latitud N y 75° 59' de longitud

W. En línea recta se encuentra a 85 km al NE de la ciudad de Popayán (figura 1). El volcán es de forma elongada en dirección N-S. Su cima está coronada por cuatro picos denominados Norte, La Cresta, Central y Sur, cubiertos por una capa glaciar; de estos, el Pico Central es el de mayor altura (Pulgarín et ál., 1996, 2007). De este volcán no se conocían registros de actividad eruptiva histórica hasta antes de que ocurrieran las erupciones más notorias en los días 19 de febrero de 2007, 18 de abril de 2007 y el 20 de noviembre de 2008; la única actividad histórica que se había registrado estaba relacionada con incandescencia, fumarolas y ruidos (Espinoza, 2001). En el campo, se apreciaban fuentes de aguas termales en las partes alta y baja del flanco occidental, actividad fumarólica sobre la parte alta de su área glaciar. Ingeominas –el Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Popayán– había registrado una baja actividad sísmica instrumental desde 1993.

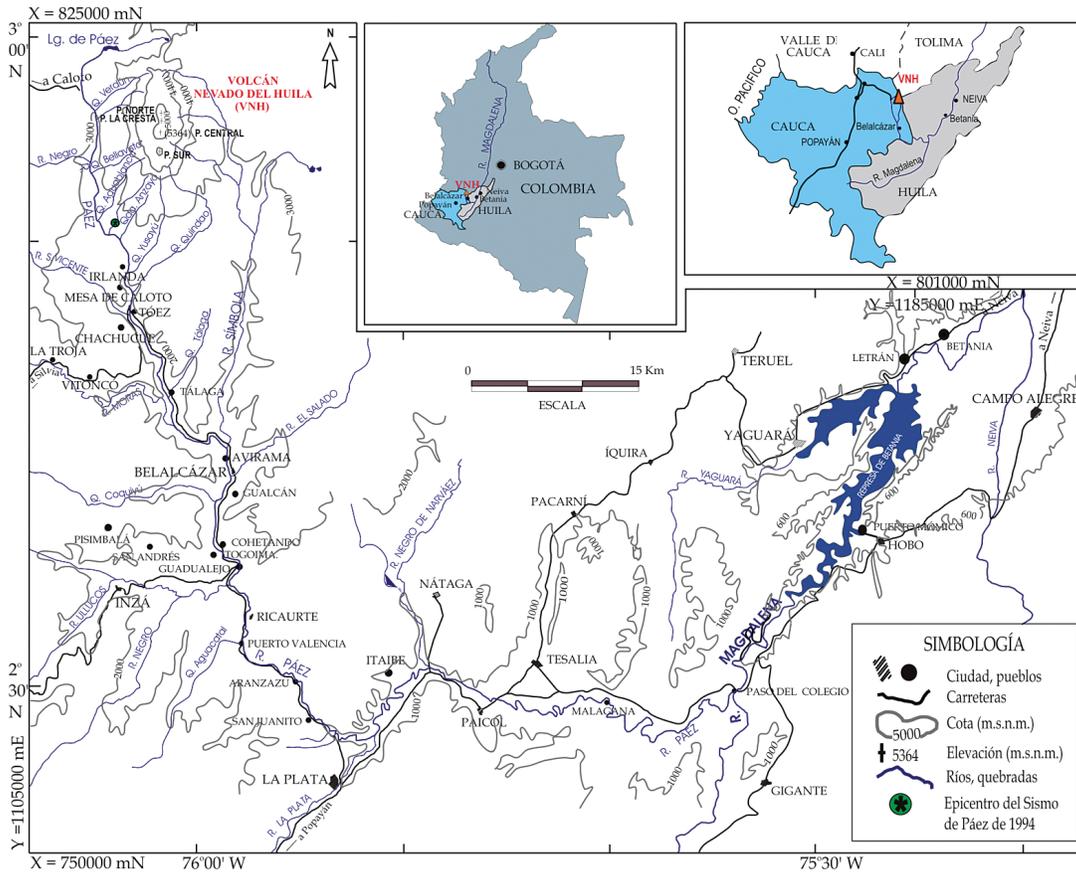


Figura 1. Mapa de localización del volcán Nevado del Huila y su zona de influencia, que incluye los ríos Páez y Simbola, y la represa de Betania, en el río Magdalena.

## Antecedentes

De acuerdo con los trabajos de Correa et ál. (2000), Pulgarín et ál. (2001) y Correa (2009), la actividad eruptiva del volcán ha sido particularmente notoria desde hace aproximadamente un millón de años y más importante en los últimos 400 mil años. Se han llevado a cabo estudios geológicos en los que se presentan las unidades litológicas regionales (Ingeominas, 1995) y locales (Correa & Pulgarín, 2002, Correa, 2009); Ingeominas ha llevado a cabo también estudios de amenaza volcánica relacionada con este volcán (Cepeda et ál, 1986, 1997), en los que muestra las posibles rutas de lahares y el mapa con la zonificación de las amenazas. Se han realizado trabajos acerca de la masa glaciaria, con datos sobre el retroceso de lenguas glaciares y área planimétrica, utilizando diferentes metodologías (con fotografías aéreas e imágenes de satélite, procesadas y analizadas con diferentes programas computacionales); entre estos trabajos están los de Flórez (1993), Ariza (2006), Pulgarín et ál. (1996, 1997, 2007) y Pulgarín & Correa (2002). Los estudios sobre flujos de escombros o avalanchas de escombros en el volcán Nevado del Huila, o que han sido asociados a este, se remontan a los de Van Houten (1976) y Van der Wiel (1991), quienes se refieren a unos remanentes espesos de depósitos de flujos torrenciales o de flujos de escombros, cerca a la población de Paicol (Huila), sobre las márgenes del río Páez, indicando la posibilidad de que hayan estado asociados a actividad del volcán Nevado del Huila hace cerca de 1 millón de años. Cepeda et ál. (1986) mencionan un depósito reciente de flujo de escombros con menos de 2000 años, emplazado sobre el valle del río Páez. Luego de la ocurrencia del sismo y de la avalancha del Páez, el 6 de junio de 1994, se realizó una serie de trabajos relacionados con la evaluación de la emergencia, la caracterización de la avalancha y la zonificación para el uso del suelo en la cuenca del río Páez (Ingeominas, 1994, 1995; RSNC, 1994; Caro, 1995; Calderón et ál, 1997). Raigosa & Pulgarín (1996) y Pulgarín (2003) realizan algunas de las primeras simulaciones de flujos de escombros en el valle del

río Páez, con flujos hipotéticos de origen volcánico y de diferentes volúmenes. Luego se ejecutaron varios trabajos que incluyen la descripción y estudio del emplazamiento de una avalancha de escombros desde el flanco sur del antiguo edificio del volcán, con la consiguiente formación de flujos de escombros posteriores sobre el valle del río Páez. Estos fenómenos ocurrieron entre hace aproximadamente 200.000 a 46.000 años a.C. (Pulgarín, 2000, Pulgarín et ál., 2001a, 2004). También se realizó una monografía referente a la recopilación de los trabajos realizados sobre el volcán Nevado del Huila o relacionados con este (Correa & Pulgarín, 2002a).

## Marco geológico

El volcán Nevado del Huila se ubica sobre la cordillera Central de Colombia y está enmarcado en un basamento conformado por diferentes litologías con edades variadas (Ingeominas, 1995), entre las que se encuentran rocas metamórficas (neises, esquistos y cuarzodioritas) del Paleozoico, rocas plutónicas (cuarzodioritas y granodioritas) del Jurásico, rocas sedimentarias (calizas) y metasedimentarias (pizarras, filitas y meta-areniscas) del Cretácico y rocas porfiríticas (andesitas-dacitas) del Terciario. Este basamento está afectado por algunas fallas geológicas principales de dirección predominante NE, como las fallas Moras Oeste, Moras Este e Inzá (Ingeominas, 1995). Es un estratovolcán, predominantemente efusivo (Cepeda et ál, 1986) y de composición mayormente andesítica, que se ha desarrollado en dos estadios o edificios, formados uno sobre el otro, denominados Pre-Huila y Huila (Correa et ál 2000, Pulgarín et ál., 2001, Correa & Pulgarín, 2002; Correa, 2009), con desarrollo de flujos de lava de corta longitud (< 3 km) y domos en la época más moderna de este último estadio. Los picos glaciares que conforman su cima son centros eruptivos que han generado principalmente flujos de lava y, en menor proporción domos y flujos piroclásticos.

La masa glaciaria de este volcán en 1961 era 19,86 km<sup>2</sup> y, 13,39 km<sup>2</sup> en 1995; por tanto, en esos 34 años perdió 5,39 km<sup>2</sup> de área, lo que equivale al 30% (Pul-

garín et ál, 1996; 2007). Antes de las erupciones recientes, en febrero de 2007, el área glaciar estaba cercana a los 11 km<sup>2</sup> (Worni, 2007; Pulgarín et ál., 2008), la cual ha ido disminuyendo más drásticamente desde que el volcán hizo sus primeras erupciones en 2007. Estudios anteriores sobre el retroceso glaciar de este estimaban la desaparición de esta masa glaciar hacia los años sesenta y setenta de este siglo, sin considerar en esta tendencia cambios súbitos debido a desestabilizaciones por erupciones volcánicas o por sismos (Pulgarín et ál., 2007).

### Metodología

En cada una de las erupciones ocurridas se llevaron a cabo salidas al campo y sobrevuelos en helicóptero, al día siguiente o pocos días después de haber ocurrido las erupciones, con el fin de caracterizar los lahares generados y tomar algunas apreciaciones acerca del glaciar, del volcán y de los valles de los ríos Páez, Símbola y Magdalena hasta la represa de Betania. En las salidas se tomaron medidas de la altura y el ancho de inundación que alcanzaron los lahares ocurridos en cada una de las erupciones mencionadas; en varios casos, debieron estimarse dichas medidas, ya que el acceso era muy difícil o peligroso. Se calcularon velocidades mínimas por el método de superrelevación (Begget & Limke, 1988) o marcas de peraltes dejados por la inundación en las curvas del valle del río Páez. Además, se tomó información proveniente de los pobladores de la zona, de los detectores de flujos de lodo y de una estación sísmica de banda ancha (instalada en el área de El Buco-Irlanda) acerca de los tiempos de arribo de los lahares; de esta manera, fueron corroboradas algunas de las velocidades calculadas. Posteriormente, se realizaron simulaciones por computador sobre modelos digitales de terreno, utilizando el método Laha-Z y se elaboraron cortes topográficos de precisión para llevar a cabo otra serie de simulaciones en sitios específicos.

### Resultados

Tres erupciones principales ocurrieron en el volcán Nevado del Huila desde que comenzó la presente

reactivación. Estas tuvieron lugar los días 19 de febrero de 2007, 18 de abril de 2007 y 20 de noviembre de 2008 y son las primeras erupciones históricas registradas y documentadas en este volcán. Hasta antes de que ocurriera la primera de estas erupciones (el 19 de febrero de 2007), el registro sísmico del volcán, que se mantiene continuo desde 1993, era muy bajo, con unos tres sismos de baja magnitud por día (con escasas excepciones en algunos años). Esta situación cambió desde el día antes de esta erupción.

### Erupción del 19 de febrero de 2007

El 18 de febrero de 2007, un día antes de la erupción, se registró un enjambre de 108 eventos sísmicos volcano-tectónicos (VT) o de fractura, localizados en la parte superficial del edificio volcánico. Posterior a este episodio, el sistema entró en excitación con generación de sismos de fractura, acompañados de un aumento significativo de eventos de largo periodo (LP) o de tránsito de fluidos. Finalmente, el 19 de febrero a las 08:53 a.m., hora local, se presentó una erupción freática, que tuvo asociada la formación de una fisura de 2 km de largo, en dirección N-S, con amplitudes variables aproximadamente entre 50 y 80 m, en la parte glaciar alta del edificio volcánico, entre los picos Central y la Cresta, por el costado W, a lo largo de la cual emanaban gran cantidad de fumarolas a manera de columnas de gases, vapor de agua y cenizas que alcanzaron 4 km sobre la cima volcánica. La ceniza generada, que se estimó en unos 700.000 m<sup>3</sup>, se dispersó hacia el W, parte de ella cubrió toda la porción W de glaciar del Pico Central y del edificio volcánico y escasamente alcanzó a llegar ceniza muy fina y olores a azufre a poblaciones que se encuentran a 30 km al W del volcán, como Jambaló y Toribío (Cauca). Con la sacudida sísmica también hubo reacomodación del sistema de grietas glaciares preexistentes y la formación de otras, manifestadas por el asentamiento y el escalonamiento de bloques de hielo del glaciar. Con esta erupción también se generó un lahar que descendió de la cima volcánica por las quebradas La Azufrada (al W) y Bellavista (al SW)

hasta llegar al río Páez en la parte baja del volcán, en donde alcanzó alturas entre 2 y 3 m, depositando la mayoría de su carga de sedimentos en estos primeros kilómetros del valle del río, el cual tiene, en este tramo, una pendiente menor de un grado ( $< 1^\circ$ ); aguas abajo. Cuando el lahar pasó por la población de Belalcázar (Cauca) (a 48 km de la cima a través de los drenajes), el flujo parecía una crecida normal del río (figura 2) con aproximadamente 1 m de altura sobre su nivel normal. A este flujo se le calculó una velocidad del orden de 20 km/h, con

base en la distancia y la diferencia de tiempos (más de 2,5 horas) entre la erupción y los registros de paso del flujo por esta población. El volumen fue estimado entre 1 y pocos millones de  $m^3$ , pues no hubo suficientes datos para el cálculo. Este lahar no causó víctimas fatales, aunque alcanzó a afectar puentes pequeños y de poca altura en la parte alta del valle y cultivos en cercanías de las orillas. Esta crecida llegó hasta la represa de Betania sin causar mayores problemas y tardó cerca de 9 horas desde el momento de la erupción.



■ Figura 2. Fotografía aérea de la población de Belalcázar, tomada el 19 de febrero de 2007, en el momento que estaba pasando el lahar producido con la erupción de ese día. Semejaba una crecida normal. El río corre hacia la derecha.

### Erupción del 18 de abril de 2007

Después de la erupción del 19 de febrero de 2007, en marzo de 2007 se evidenció una relajación parcial del sistema volcánico, con escasas y pequeñas emisiones de ceniza, hasta el 17 de abril, cuando se registró un nuevo incremento en la actividad sísmica, con un enjambre de eventos VT, de carácter superficial, localizados sobre el Pico Central; luego se registró un gran número de sismos LP, los cuales desencadenaron finalmente en una nueva erupción

freática a las 02:58 a.m. del 18 de abril de 2007. Esta erupción originó una nueva megafisura sobre la cima del glaciar, que tuvo aproximadamente las mismas proporciones de la primera, es decir, 2,3 km de longitud, también con amplitudes entre 50 y 80 m, la cual atravesó el Pico Central en dirección SW-NE y la fisura formada el 19 de febrero de 2007 (figura 3). Hubo una leve generación de ceniza de caída que cubrió el Pico Central, y salida de fumarolas abundantes que brotaban del interior de la fisura y a través de toda su longitud, lo que

obstaculizó por varios días la visibilidad e impedía observar la verdadera magnitud de esta gran grieta formada, al igual que ocurrió en la erupción del 19 de febrero; también se produjo reacomodación del sistema de grietas glaciares preexistentes y formación de otras nuevas. Con esta erupción también se perdió la porción frontal de la lengua glaciar el Oso, en el sector E, estimándose en unos 500 mil m<sup>3</sup> de hielo perdido y hubo formación de un nuevo lahar, de proporciones mucho mayores que el ocurrido el 19 de febrero de 2007, el cual se encauzó en esta

ocasión no solo por el valle del río Páez (al W), sino también por el del Símbola (al E). Ambos ramales del flujo se formaron casi al mismo tiempo y luego de recorrer distancias muy similares, se encontraron en el sitio de unión de los drenajes, unos 2 km al N de Belalcázar, y afectaron importante infraestructura vial, dejando incomunicada, entre otras, a esta población que es el mayor centro poblado del área y arrasando con varios puentes que se encontraban a alturas hasta de 15 m, en los valles de los dos ríos mencionados.

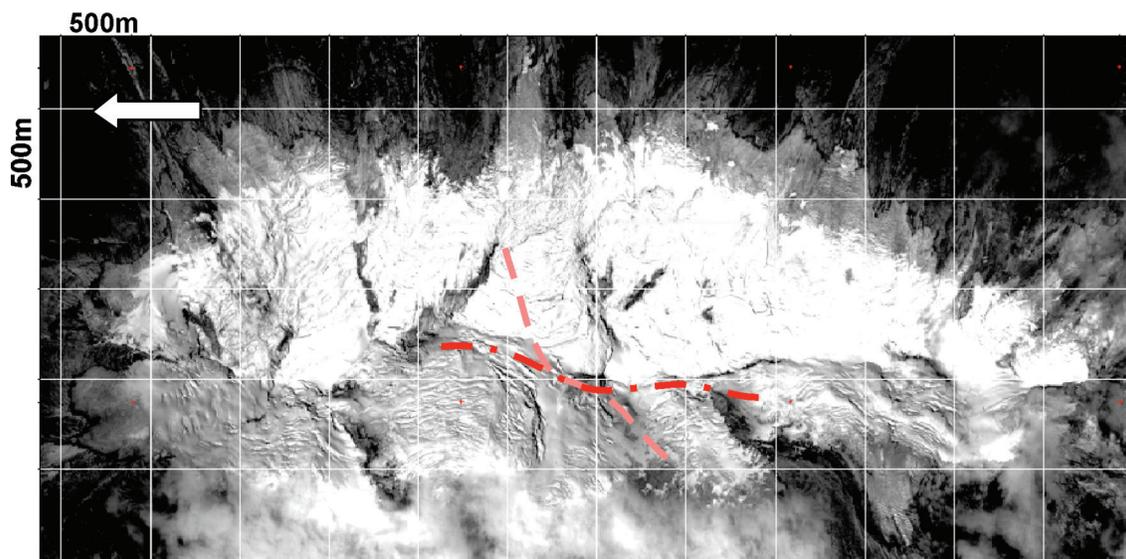


Figura 3. Imagen QuickBird del nevado del Huila del 7 de febrero de 2007 (suministrada por el USGS), en la que se ilustran las trazas de las megafisuras formadas con las erupciones del 19 de febrero de 2007 (la N-S) y el 18 de abril de 2007 (la SW-NE).

Luego de que los dos lahares se unieron alcanzaron una velocidad cercana a 80 km/h (en los primeros 50 km), de acuerdo con los datos del tiempo de paso de los lahares en los detectores de flujos de lodo instalados en ambas cuencas; también fueron de apoyo los registros de algunos testigos de las poblaciones de Belalcázar (donde pasó a los 35 minutos después de la erupción), Tóez y Mesa de Caloto. Hacia la parte lejana, el lahar alcanzó velocidades cercanas a 20 km/h y tardó entre 9 y 10 horas para llegar a Betania (CHB, com. Escrita, 2007). Tuvo un alto de inundación promedio de 10 m en la cuenca alta del Páez (figura 4) y de unos 5 m en la cuenca baja y en su aproximación al río Magdalena. En algunos casos donde los

ríos presentan curvas pronunciadas (donde el flujo hace un peralte) o el valle se estrecha, las alturas de la inundación alcanzaron entre 16 y 30 m (este último en la cuenca de río Símbola). En total, este lahar tuvo un recorrido de más de 160 km hasta la represa de Betania (sobre el río Magdalena y en el departamento del Huila) y un volumen calculado entre 50 y 75 millones de m<sup>3</sup>, mediante el método de simulaciones Laharz (Iverson et ál., 1998), el cual debió ser calibrado para la cuenca del río Páez (Cardona & Pulgarín, 2007).

La ocurrencia de este gran lahar a lo largo de los ríos Páez y Símbola, que luego continuó por el Magdalena, no causó pérdidas de vida gracias a varios factores que, conjugados, permitieron dar la

oportuna voz de alerta y lograr la eficaz evacuación de la población. Entre esos factores pueden destacarse la buena preparación y organización de las comunidades y autoridades de Páez y su experiencia ganada con la avalancha ocurrida el 6 de junio de 1994; el empeño de los organismos de socorro como la Cruz Roja; la presencia y operatividad

de redes de vigilancia volcánica, compuesta entre otros, por sismómetros y detectores de flujos de lodo; y la experiencia de los profesionales encargados de manejar la crisis para dar oportunamente las alertas. Todo esto está integrado por la existencia del Sistema Nacional para la Prevención y Atención de Desastres (SNPAD).



■ Figura 4. Fotografía aérea de la población de Belalcázar, tomada el 18 de abril de 2007, momentos después de que había pasado el lahar (10 m de altura promedio) por el río Páez, producido con la erupción de ese día. Parte de la población se vio afectada directamente. Aquí ya venían unidos los dos ramales del lahar (Páez y Símbola). El río corre hacia la derecha.

### Erupción del 20 de noviembre de 2008

Luego de haber permanecido con una actividad sísmica relativamente relajada después de las erupciones del 2007 (aunque con algunos episodios fuertes), la actividad sísmica registrada en el volcán Nevado del Huila en el transcurso de noviembre de 2008 se caracterizó por el incremento rápido en la ocurrencia de eventos relacionados con tránsito de fluidos a través de los conductos del edificio volcánico; en algunos casos, se pudo asociar dicho registro con emisiones de gas y ceniza, como los del 2, 3, y 7 de noviembre (Ingeominas, 2008), y algunos cambios morfológicos (figura 5) sobre la cima del Pico Central del volcán (agrietamientos y asentamientos del glaciar). Además, durante la primera semana de noviembre de 2008, también hubo un cambio en la coloración del agua del río, debido a que venía cargado de sedimentos arcillosos en suspensión,

lo que tornaba el agua de color gris blanquecina y expelía un olor salobre. De acuerdo con análisis de sedimentos suspendidos, la carga de estos se calculó en  $3,6 \text{ kg/m}^3$ . Análisis de Difracción de Rayos X realizados en Ingeominas (Cali), determinaron que entre los componentes de estos sedimentos se encontraron minerales hidrotermales como cuarzo (en gran cantidad), cristobalita, tridimita, pirita y alunita entre otros; esta última quizás era la que generaba ese olor fuerte. Entre el 8 y el 20 de noviembre, hubo un incremento notable de la actividad sísmica en el Pico Central, a niveles muy someros de profundidad, registrándose 17.564 sismos, con un promedio diario de 1210 sismos (Ingeominas, 2008). Lo anterior se relacionó con la migración de un cuerpo magmático hacia superficie, que al interactuar con el sistema hidrotermal generó emisiones continuas de gases y ceniza. Al continuar

el proceso en su evolución con esta intensa actividad sísmica, a las 21:45 horas, tiempo local, del 20 de noviembre de 2008, ocurrió un nuevo evento eruptivo que comenzó por un disparo sísmico de eventos tipo LP, el cual duró 4 minutos aproxima-

damente; a éste le siguió inmediatamente la señal eruptiva que saturó los registros análogo y digital alrededor de 9 minutos. A partir de este momento, fue decayendo lentamente la señal para ajustar un total de 28 minutos de duración.

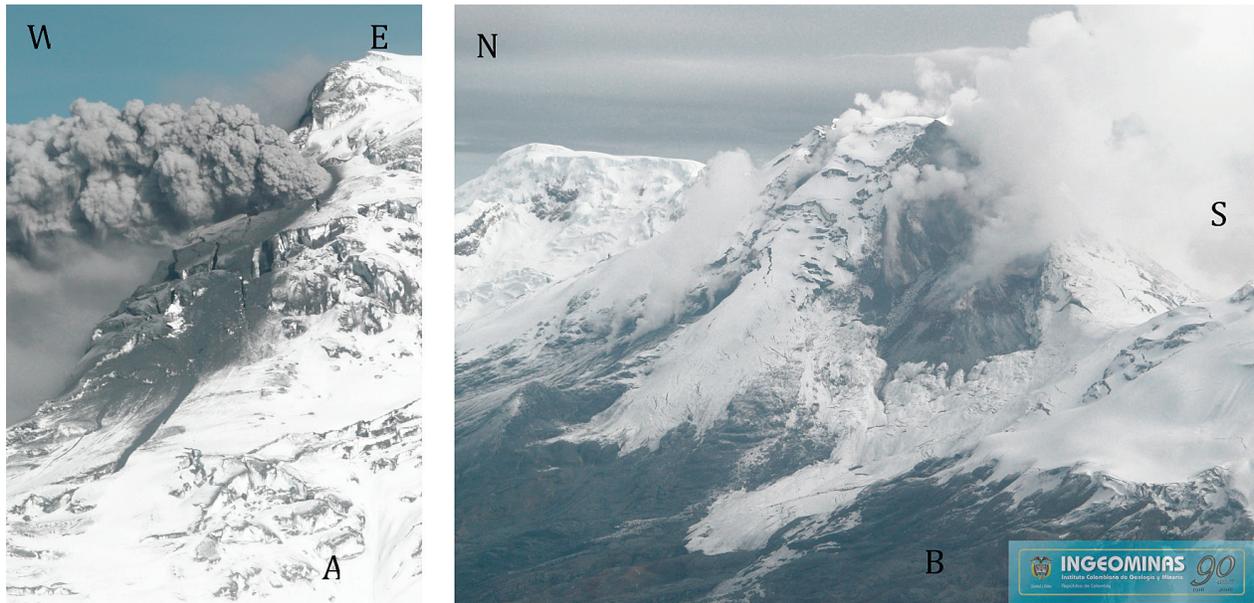


Figura 5. Fotografías aéreas del pico central del Nevado del Huila muestra los cambios morfológicos ocurridos por la actividad reciente. A. Agrietamientos, hundimientos y caída de cenizas en el glaciar (tomada el 6 de noviembre de 2007). B. Cráter neoformado, y en su centro el domo recién emplazado en la superficie (con fumarolas) durante la erupción del 20 de noviembre de 2008. Más al N se aprecia, además, el tramo SW de la megafisura formada con la erupción del 18 de abril de 2007), aún con presencia de actividad fumarólica (tomada el 6 de diciembre de 2008).

La actividad sísmica durante esta erupción tuvo un comportamiento dominante de sismos tipo LP, HB y Tremor (TR), con tiempos de recurrencia muy cortos. Esta erupción fue de características freatomagmáticas y produjo la inmediata generación de un lahar primario desde la cima del Pico Central, el cual descendió por el flanco occidental (figura 6), a lo largo de la quebrada Bellavista hasta el río Páez, continuando luego por el río Magdalena y posteriormente a la represa de Betania, donde llegó ya muy diluido y fue controlado sin causar grandes estragos. Este lahar tuvo alturas de inundación promedio de unos 45 m, 20 m y 5 m, para las partes alta media y baja de su recorrido, respectivamente, a lo largo del río Páez. Mediante el método Laharz, calibrado para el río Páez (Cardona & Pulgarín, 2007), se le calculó un volumen entre 350 millones y 400 millones de m<sup>3</sup>, corroborado también con datos obtenidos de los detectores

de flujos de lodo y con la estación sismológica de banda ancha. Este flujo fue de magnitud aproximadamente similar al lahar sismogénico ocurrido el 6 de junio de 1994 en esta cuenca (Calderón et ál., 1997) y mayor que el generado el 18 de abril de 2007; tuvo velocidades del orden de 100 km/h en la parte proximal y de 20 km/h en su parte lejana. La principal afectación por causa del lahar ocurrió de nuevo en la población de Belalcázar (figura 7), en donde la inundación alcanzó alturas entre 19 y 23 m sobre el nivel del río, pero luego del paso del lahar hubo una gran depositación de sedimentos, lo que causó la elevación del lecho del río entre 7 y 11 m, de acuerdo con los perfiles topográficos realizados por Ingeomimas pocos días después de ocurrido el lahar. Esto se aprecia claramente en sitios como el antiguo puente localizado al frente de Belalcázar, donde el lecho actual del río Páez quedó a nivel de donde estaba dicho puente.



► **Figura 6.** Fotografía que muestra las rutas iniciales que siguieron los lahares generados con las erupciones recientes del volcán Nevado del Huila, antes de llegar al río Páez. La más amplia, por los efectos del lahar del 20 de noviembre de 2008, es la quebrada Bellavista.



► **Figura 7.** Fotografía de la población de Belalcázar, con los efectos del lahar del 20 de noviembre de 2008. Se observan algunos barrios afectados al N y el Colegio, al S, que no habían sufrido con el lahar del 18 de abril de 2007. Tampoco se observa la cancha de fútbol ni el puente que estaba a ese nivel sobre el río Páez. En este sector hubo una depositación de sedimentos con espesor entre 7 y 11 m, luego de este lahar. El río corre hacia el observador.

Como consecuencia de esta actividad ocurrida en el Pico Central del volcán Nevado del Huila, se formó inicialmente un cráter de unos 500 m de diámetro en su parte glaciar, sobre el que comenzó

a aflorar y a emplazarse un domo en el sector ubicado entre el flanco suroeste del Pico Central y el flanco noroeste del Pico Sur. A este nuevo proceso, que continúa hasta hoy, se han asociado nuevas

emisiones de cenizas, algunos eventos sísmicos relacionados con fracturamiento de roca o volcánico-tectónicos (VT), a niveles superficiales, con magnitudes que han alcanzado hasta 4,2 (Richter), los cuales evidencian la salida y el crecimiento del domo que, según apreciaciones en sobrevuelos (figura 8), puede tener actualmente (junio de 2009) más de 1 km de diámetro y cerca de 300 m de altura y ha presentado desprendimiento de bloques

que generan sismos de baja magnitud. El desarrollo y el crecimiento del domo, así como la ampliación del cráter, continúan hasta la fecha, manteniendo la expectativa sobre la posibilidad de generación de nuevos lahares en caso de colapsos o explosiones del domo, con las posibles consecuencias para las poblaciones asentadas en las orillas de los ríos Páez y Símbola.



► **Figura 8.** Fotografía aérea del domo que se emplaza actualmente en el cráter del pico central del Volcán Nevado del Huila. Obsérvese la actividad fumarólica y la pared N del cráter. El domo tiene dimensiones del orden de 1 km de diámetro y unos 300 m de alto. La pared del cráter tiene unos 350 m de altura.

### Discusión de resultados

Hasta la actualidad, los cambios morfológicos que ha venido sufriendo la masa glaciar de este volcán, después de las erupciones mencionadas de 2007 y 2008, han sido notorios; entre ellos se destacan la formación de las dos megafisuras sobre este glaciar, una generada en cada erupción del año 2007 y que internamente exhibían paredes que mostraban espesores de hielo cercanos a 50 m en algunos sitios; la fusión paulatina del hielo debido a su interacción con los gases calientes que emanan permanentemente de las fumarolas presentes a lo largo de las

dos grandes fisuras y de otros sitios fuera de estas; basculamiento y fusión de bloques de hielo cercanos a los bordes de estas grandes fisuras, lo que lleva a estimar una disminución del área y el volumen de esta masa; pérdida parcial de algunos frentes de lenguas glaciares (como El Oso), tanto súbitamente durante la erupción de abril de 2007 como lentamente luego de las erupciones; formación de avalanchas pequeñas y delgadas de nieves blanda que ocurren después de algunos momentos de recarga de nieve; formación de nuevas y complejas grietas en el cuerpo del glaciar, así como la reacomodación

y la desestabilización de bloques glaciares, ocurridas no solamente por las sacudidas sísmicas, que han tenido magnitudes Richter hasta 4,9, sino también por la desestabilización del glaciar, debido a los hundimientos de bloques de hielo en diferentes sectores, principalmente sobre y alrededor del Pico Central; intercalación de capas de nieve con capas de cenizas de caídas recientes, lo que en épocas de ablación permite dejar al descubierto esas cenizas, generando un gran arrastre de sedimentos hacia las zonas periglaciares y dejando manchado de color negro grisáceo la superficie glaciar, lo cual da la impresión de que hubiera ocurrido una nueva caída de cenizas. Los cambios en el glaciar, relacionados con la actividad asociada a la erupción del 20 de noviembre de 2008, ha generado modificaciones en la morfología del glaciar, ya que la formación y la ampliación del cráter y el desarrollo y crecimiento del domo en la zona glaciar ha causado la disminución del área y el volumen de este, y le ha ocasionado más inestabilidad (debido al calor emanado desde el domo) a causa de la formación de paredes altas en el cráter y de nuevas grietas alrededor de éste, que generan el colapso de bloques de hielo en su interior. Por tanto, estos cambios notorios causados por la reciente actividad volcánica y los efectos posteriores a ella, seguramente están produciendo un retroceso glaciar mucho más acelerado que la proyección indicada por Pulgarín et ál. (2007), lo que llevaría a la extinción más rápida de esta masa glaciar.

De acuerdo con las evidencias, como el agua en exceso que entró en la represa de Betania con mayor volumen que la generada por la fusión del hielo, y la ausencia de material juvenil, al menos en los dos primeros depósitos de flujos, los tres lahares generados en las erupciones del 19 de febrero de 2007, 18 de abril de 2007 y 20 de noviembre de 2008, están asociados a la expulsión de volúmenes considerables de agua caliente del interior del volcán a través de las grandes fisuras formadas en las erupciones de febrero y abril de 2007, incluso en la erupción del 20 de noviembre de 2008. Las fuertes pendientes del volcán en el área glaciar y la ausencia

de un cráter propiamente dicho antes de las erupciones de 2007 sugieren descartar la posibilidad de que el agua estuviera almacenada en una depresión topográfica o en un reservorio subglaciar antes de ser liberada.

En volcanes activos, pueden ocurrir cambios en los niveles de aguas subterráneas y en fuentes termales que pueden estar asociados a intrusiones magmáticas o a reacciones por algunos cambios en la dinámica hidrológica, pero los eventos ocurridos en el volcán Nevado del Huila parecen ser mucho más grandes en escala que estos últimos. Por tanto, aunque el entendimiento del mecanismo que expulsó estas cantidades de agua en cada erupción no está bien establecido, se supone que haya estado asociado a la intrusión paulatina de un cuerpo magmático, en este caso representado por el domo, el cual interactuó con reservorios del sistema hidrotermal. La generación de lahares grandes por expulsiones de agua durante erupciones relativamente pequeñas, con escasos precursores, es una amenaza volcánica poco usual pero significativa que ha tenido escasos precedentes históricos en el mundo.

## Conclusiones

El proceso de reactivación del volcán Nevado del Huila se incrementó con las primeras erupciones ocurridas en 2007, las cuales fueron de tipo freáticas y produjeron emisiones de cenizas y lahares de diferentes magnitudes en el valle del río Páez. La actividad y las erupciones freáticas con expulsión de agua caliente en ese año iniciaron el periodo de ascenso de magma hasta el proceso ocurrido en 2008, cuando el cuerpo magmático (el domo) ya estaba a niveles más superficiales, en donde interactuó de nuevo con el sistema hidrotermal, empujándolo y generando la expulsión parcial de este, lo cual representó el cambio en la coloración del río Páez; posteriormente, la interacción fue más eficiente generando una erupción de características freatomagmáticas, el 20 de noviembre de 2008, dada por el emplazamiento del domo en la superficie del volcán y la generación de un lahar

de mayores proporciones que los anteriores. Toda esta actividad que aún continua su desarrollo, así como el proceso de crecimiento del domo, mantiene la expectativa en las poblaciones asentadas en los valles de los ríos Páez y Símbola, sobre escenarios más peligrosos ante la posibilidad de generación de nuevos y mayores lahares, en caso del colapso o explosión del domo y más si se conoce que, en la zona de Belalcázar, el lecho del río ahora es cerca de 10 m más alto. Por esto, el gobierno colombiano decidió comenzar los estudios para

la reubicación de las poblaciones potencialmente afectadas hacia lugares más seguros.

### Agradecimientos

Los autores agradecen a Ingeominas por brindar el apoyo económico para las comisiones de campo y por organizar la logística necesaria; también se extienden los agradecimientos a la comunidad de Páez, por el gran apoyo prestado a los equipos que se desplazaron a la zona, aun en los momentos difíciles, recién ocurridos los eventos. ▀

### Referencias

- Ariza, A. (2006). *Retroceso de glaciales tropicales en los Andes Centrales de Colombia mediante imágenes Landsat*. Bylaws of the Journal Editorial Board Polytechnic University of Puerto Rico. San Juan, Puerto Rico. Accepted march 2006. Departamento de Geografía. Universidad de Alcalá, Madrid, España.
- Beget, J. E. & Limke, A. J. (1988). Two dimensional kinematic y rheological modeling of the 1912 pyroclastic flow, Katmai, Alaska. *Bulletin of Volcanology*, 50, 148-160.
- Calderón, Y., Ávila, G. & Ojeda, J. (1997). Estudio de amenazas y zonificación geológica de la cuenca del río Páez. 2<sup>nd</sup> Pan-am. Symp. Landslides, 2<sup>nd</sup> COBRAE, Río de Janeiro.
- Cardona, C. & Pulgarín, B. (2007). *Ajuste del método laharez-Z, a la cuenca del río Páez (Colombia), con base en los flujos de lodo ocurridos en los años de 1994 y 2007 en el sector del volcán Nevado del Huila*. Informe interno. Popayán: Ingeominas.
- Caro, P. (1995). *Geología y geomorfología de la parte central del valle del río Páez entre Irlanda y su confluencia con el río Magdalena*. Informe interno. Santafé de Bogotá: Ingeominas.
- Central Hidroeléctrica de Betania (CHB) (2007). Datos de caudales de entrada a la represa de Betania los días 6 de junio de 1994, 18 y 19 de febrero de 2007 y 17 y 18 de abril de 2007 (comunicación escrita).
- Cepeda, H., Méndez, R., Murcia, L. A. & Vergara, H. (1986). *Mapa preliminar de riesgos volcánicos potenciales del Nevado del Huila*. Informe 1981. Popayán: Ingeominas.
- Cepeda, H., Pulgarín, B., Correa, A. & Agudelo, A. (1997). *Evaluación de amenaza y vigilancia volcánica del Complejo Volcánico Nevado del Huila*. Popayán: Ingeominas.
- Correa, A., Cepeda, H., Pulgarín, B. & Ancochea, E. (2000). El Volcán Nevado del Huila (Colombia): rasgos generales y caracterización composicional. *Revista Geogaceta*, 27, 2000, 51-54. Universidad Complutense de Madrid.
- Correa, A. M. (2009). *Estudio petrológico, geoquímico y vulcanológico para establecer la evolución magmática del Complejo Volcánico Nevado del Huila, Colombia*. Tesis doctoral. Madrid: Universidad Complutense de Madrid, Facultad de Ciencias Geológicas, Departamento de Petrología y Geoquímica.
- Correa, A., Cepeda, H., Pulgarín, B. & Ancochea, E. (2000). El Volcán Nevado del Huila (Colombia): rasgos generales y caracterización composicional. Universidad Complutense de Madrid, *Revista Geogaceta*, 27, 2000, 51-54.
- Correa A. M. & Pulgarín B. (2002). *Morfología, estratigrafía y petrografía general del Complejo Volcánico Nevado del Huila (CVNH) énfasis en el flanco occidental*. Informe Interno. Popayán: Ingeominas.
- Correa, A. M. & Pulgarín, B. (2002a). *Revisión histórica de los estudios geológicos y otros Aspectos sobre el Volcán Nevado del Huila y su área de influencia*. Informe técnico. Popayán: Ingeominas.
- Espinosa, A. (2001). *Erupciones históricas de los volcanes colombianos (1500-1995)*. Bogotá: Academia Colombiana de Ciencias Exactas Físicas y Naturales, Colección Jorge Álvarez Lleras, 16, 291.

- Flórez, A. (1993). Los nevados de Colombia, glaciales y glaciaciones. *Análisis Geográficos*, 22, 95 Bogotá: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).
- Ingeominas. (1994). El sismo de Páez, Cauca, del 6 de junio de 1994, evaluación de emergencia. Informe presentado al Sistema Nacional para la Prevención y Atención de Desastres de Colombia. Santafé de Bogotá.
- Ingeominas. (1995). *Zonificación para usos del suelo en la cuenca del Río Páez*. Informe interno. Popayán: Ingeominas – Corporación Nasa – Kiwe.
- Ingeominas. (2008). *Informe de actividad del volcán Nevado del Huila en noviembre de 2008*. Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Popayán. Informe interno, en [www.ingeminas.gov.co](http://www.ingeminas.gov.co).
- Iverson, R. M., Schilling, S. P. & Vallance, J. W. (1998). Objective delineation of lahar-inundation hazard zones. *Geological Society of America Bulletin*, 110(8), 972-984.
- Pulgarín, B. (2000). *Depósitos masivos del Pleistoceno Tardío, asociados al colapso del flanco sur del volcán Nevado del Huila (Colombia)*. Tesis de Maestría. México: Universidad Nacional Autónoma de México. Programa de Posgrado en Ciencias de La Tierra.
- Pulgarín, B. (2003). *Mapa de amenaza por un flujo de escombros de gran volumen, simulado sobre el valle del río Páez*. Resúmenes del IX Congreso Colombiano de Geología, 31 de julio al 2 de agosto de 2003. Medellín.
- Pulgarín, B., Cardona, C., Santacoloma, C., Agudelo, A., Calvache, M. & Monsalve, M. L. (2008). Erupciones del Volcán Nevado del Huila, en febrero y abril de 2007, y los cambios en su masa glaciar. *Boletín Geológico*, 42 (1-2), 109-127.
- Pulgarín, B., Jordan, E. & Linder, W. (1996). Cambio glaciar del volcán Nevado del Huila entre 1961 y 1995. *Memorias*. VII Congreso Colombiano de Geología, IV Conferencia Colombiana de Geología Ambiental y II seminario sobre el Cuaternario en Colombia. Tomo I, 441-451. Bogotá: Ingeominas.
- Pulgarín, B., Jordan, E. & Linder, W. (2007). *Aspectos geológicos y cambio glaciar del volcán Nevado del Huila entre 1961 y 1995*. Memorias de la primera conferencia internacional de cambio climático: impacto en los sistemas de alta montaña. Bogotá: Cruz Roja Suiza – Ideam – Universidad de Zurich, pp. 123-140.
- Pulgarín, B., Macías, J. L., Cepeda, H. & Capra, L. (2004). Late Pleistocene deposits associated with a southern flank collapse of Nevado del Huila volcanic complex (Colombia). *Acta Vulcanológica*, 16(1-2), 37-58. Special Issue on debris avalanche and debris flows in volcanic terrains, origins, behavior and mitigation. Pisa-Roma: Istituti Editoriali e Poligrafici Internazionali.
- Pulgarín, B., Correa A, Cepeda H & Ancochea E. (2001). Aspectos geológicos del Complejo Volcánico Nevado del Huila (CVNH). VIII Congreso Colombiano de Geología y V Conferencia Colombiana de Geología Ambiental (digital). Manizales, Colombia.
- Pulgarín, B., Capra, L., Cepeda, H. & Macías, J. L. (2001a). Flujos gigantes de lodo (>10 km<sup>3</sup>) derivados de colapsos volcánicos: los casos del Nevado del Huila (Colombia) y Nevado de Colima (México). *Revista Geofísica*, 52. México: Instituto Panamericano de Geografía e Historia (IPGH).
- Pulgarín, B., Cepeda, H. & Correa, A. (1997). *Geología del Complejo Volcánico Nevado del Huila*. Informe Interno. Popayán: Ingeominas.
- Pulgarín, B., Jordan, E. & Linder, W. (1996). Cambio glaciar del volcán Nevado del Huila entre 1961 y 1995. *Memorias*. VII Congreso Colombiano de Geología. Bogotá.
- Raigosa, J. & Pulgarín, B. (1997). Primary lahar simulation through the Páez river valley (Colombia). Abstracts, IAVCEI General Assembly, 95. Puerto Vallarta, México.
- Red Sismológica Nacional de Colombia (RSNC) (1994). El sismo de Páez (Cauca) del 6 de junio de 1994. *Boletín Mensual de Sismos*, 2(6), 13, Santafé de Bogotá: Ingeominas.
- Worni, R. (2008). *Volcanic eruption-related impacts on glaciers and modelling of lahars at Nevado del Huila, Colombia*. Diploma Thesis. Departement of Environmental Sciences ETH Zurich. Authored at the University Zurich and Ingeominas Popayán and Bogotá, Colombia.
- Van der Wiel, A. (1991). Uplift and volcanism of the SE colombian Andes in relation to Neogene sedimentation in the Upper Magdalena Valley. En T. van der Hammen (ed.). *The Quaternary of Colombia*, 18. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, Instituto de Ciencias Naturales. (reprinted from PhD Thesis, Wageningen Agricultural University, 1991. Amsterdam), pp. 169-181.
- Van Houten, F. B. (1976). Late Cenozoic volcanoclastic foredeep, Colombia. *Geological Society of America Bulletin*, 87, 481-495.