

# Registro de erupciones ocurridas en los Andes del Norte durante el Holoceno: Nuevos resultados obtenidos en la turbera de Potrerillos, Complejo Volcánico Chiles-Cerro Negro

Santamaría Santiago<sup>1</sup>; Telenchana Edwin<sup>1</sup>; Bernard Benjamin<sup>1</sup>; Hidalgo Silvana<sup>1</sup>; Beate Bernardo<sup>2</sup>; Córdova Marco<sup>1</sup>; Narváez Diego<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>Instituto Geofísico, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador

<sup>2</sup>Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería en Geología y Petróleos, Quito, Ecuador

**Resumen:** Varios periodos eruptivos han ocurrido durante el Holoceno en los Andes Septentrionales. En busca de sus evidencias, se realizó una perforación manual en el flanco sureste del volcán Cerro Negro, en la zona de Potrerillos, frontera Ecuador - Colombia. En el testigo de perforación se identificaron 12 capas de cenizas volcánicas con tamaño de grano medio a extremadamente fino. Se realizaron nueve dataciones radiocarbono en los sedimentos orgánicos hallados inmediatamente debajo de las principales capas que mostraron un rango de edad entre ~140-6900 años AP. El análisis de componentes de cada capa de ceniza reveló la presencia predominante de pómez y cristales libres (plagioclasa, anfíbol,  $\pm$  biotita,  $\pm$  piroxeno,  $\pm$  cuarzo). Se identificaron dos grupos de cenizas: (1) un grupo de cenizas ácidas, probablemente provenientes del volcán Azufral (Colombia) y que corresponden a una actividad explosiva entre ~3830-6650 años AP; y (2) un grupo de cenizas de composición intermedia a ácida procedentes, probablemente, del frente volcánico ecuatoriano (Cordillera Occidental). En este último grupo se identificó una capa posiblemente relacionada a la erupción del siglo X del volcán Guagua Pichincha. Ninguna de las capas encontradas se relaciona directamente con el Complejo Volcánico Chiles - Cerro Negro, lo que sugiere una ausencia de actividad explosiva en los últimos ~6900 años AP.

**Palabras clave:** Complejo volcánico Chiles-Cerro Negro, cenizas holocénicas, turbera.

## Record of eruptions occurred in the northern Andes during the Holocene: New results obtained from the Potrerillos peatbog, Chiles-Cerro Negro Volcanic Complex

**Abstract:** Several eruptive periods have occurred in the Northern Andes during the Holocene. In order to look for these eruptive periods, a manual drilling was carried out on the southeast flank of the Cerro Negro volcano, in the Potrerillos area, Ecuador - Colombia border. In the drill core, 12 layers of medium to extremely fine grain volcanic ashes were identified. Nine radiocarbon ages were obtained from organic sediments found immediately below the major layers, showing an age range from ~ 140 to 6900 years BP. The component analysis of each ash layer revealed the predominance of pumice and free crystals (plagioclase, amphibole,  $\pm$  biotite,  $\pm$  pyroxene,  $\pm$  quartz). Two groups of ash were identified: (1) a group of acid ashes, probably erupted from the Azufral volcano (Colombia), corresponding to an explosive activity that took place between ~ 3830-6650 years BP; and (2) a group of intermediate to acid ashes probably related to the Ecuadorian volcanic front (Western Cordillera). In this last group, we identified a layer possibly related to the 10<sup>th</sup> century Guagua Pichincha's eruption. Accordingly, none of the layers found seems to be directly related to the Chiles - Cerro Negro Volcanic Complex, suggesting an absence of explosive activity within the last ~ 6900 years BP.

**Keywords:** Chiles-Cerro Negro volcanic complex, Holocene ashes, peatbog.

### 1. INTRODUCCIÓN

El arco volcánico continental del Ecuador está compuesto por al menos 84 centros volcánicos cuaternarios (Bernard & Andrade, 2011); de los cuales, por lo menos 22 han presentado episodios eruptivos confirmados durante el Holoceno (Santamaría et al., 2017). El Complejo Volcánico Chiles-Cerro

Negro (CV-CCN) se localiza en el límite internacional entre Ecuador y Colombia, a 25 km al occidente de la ciudad de Tulcán en la provincia de Carchi. Este complejo está constituido por dos edificios principales que han mostrado una gran similitud a lo largo de su historia eruptiva; y forman parte del denominado Frente Volcánico que se emplaza sobre la

ssantamaria@igepon.edu.ec

Recibido: 01/03/2017

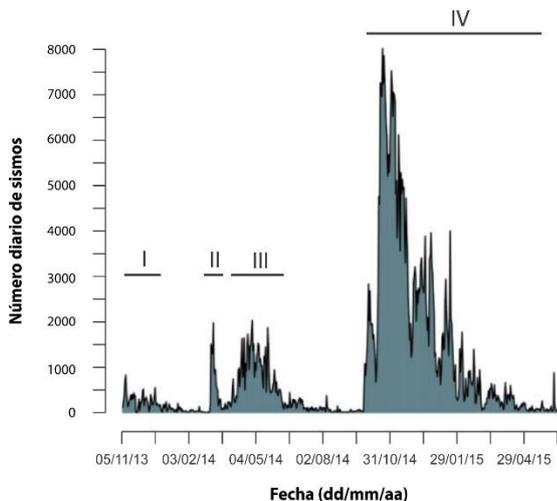
Aceptado: 14/06/2017

Publicado: 27/07/2017

Cordillera Occidental del Ecuador (Barberi et al., 1988; Hall et al., 2008).

El volcán **Cerro Negro** es un estratovolcán que alcanza los 4429 msnm (metros sobre el nivel del mar). Tiene una edad globalmente correspondiente al Pleistoceno superior de la que se tienen evidencias de actividad explosiva reciente ocurrida hace 40 ka (Olade, 1987); no obstante, la avalancha asociada al colapso sectorial de su flanco occidental ha sido datada por el método  $^{14}\text{C}$  en  $6065 \pm 130$  años AP (Cortés & Calvache, 1997). El volcán **Chiles** está ubicado a 4 km al Este del volcán Cerro Negro y alcanza una altura de 4707 msnm; su última actividad volcánica confirmada data del Pleistoceno Superior (Olade, 1987, Telenchana et al., 2017). Sin embargo, sus lavas más recientes podrían ser de edad Holocénica ya que no muestran evidencias de erosión glaciaria (B. Beate, com. pers.).

El CV-CCN, y particularmente el volcán Cerro Negro, es considerado como potencialmente activo (Bernard & Andrade, 2011); por lo que desde 1991 es monitorizado por el Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional (IG-EPN) y desde 2013, se trabaja conjuntamente con el Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Pasto (OVSP) del Servicio Geológico Colombiano (SGC) en el monitoreo y la evaluación de la amenaza. La actividad actual del complejo volcánico se manifiesta por la existencia de fuentes termales y solfataras, como las de “Aguas Hediondas” localizadas al occidente de Tufiño al pie del volcán Chiles (Cortés & Calvache, 1997).



**Figura 1.** Enjambres sísmicos registrados en la zona del CV-CCN representados como incrementos en el número diario de sismos entre noviembre de 2013 y junio de 2015. (Fuente: IG-EPN, informe 2015-22).

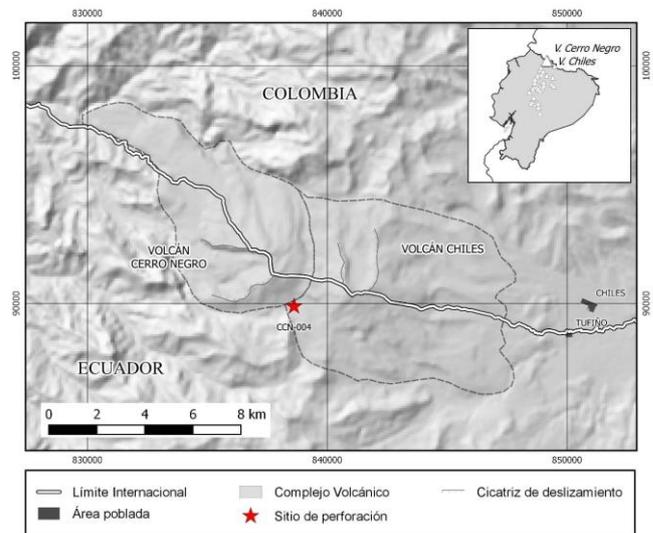
A partir del año 2013 se detectó la ocurrencia de 4 enjambres sísmicos ocurridos en las cercanías del CV-CCN (Figura 1). El primer enjambre fue registrado entre septiembre de 2013 y enero de 2014; el segundo ocurrió en febrero de 2014; el tercero se registró entre marzo y julio del mismo año con más de 100 mil sismos dentro de ese periodo. El 30 de abril de 2014 ocurrió un sismo de magnitud 4.8 que fue considerado el evento más grande registrado en la zona hasta ese momento. Finalmente, el cuarto enjambre se registró entre septiembre de 2014 y mayo de 2015. El 20 de octubre de 2014 a las 14:33 (hora local) se produjo un sismo de magnitud 5.9 con epicentro en el flanco sur-occidental del volcán Chiles (IG-EPN, informe 2014-23), mientras que el 22 de octubre del mismo

año se registró el mayor número de sismos por día con un total de 8.246 eventos (IG-EPN, informe 2014-25). Según el estudio de Ebmeier et al. (2016) es posible que este sismo haya provocado un cambio sustancial en el campo de esfuerzos tectónicos que detuvo la agitación magmática (unrest) al impedir el ascenso de magma, inhibiendo así una posible erupción.

Esta información evidencia la importancia de realizar estudios volcánicos en el CV-CCN que ayuden al entendimiento de su evolución a través de tiempo y su comportamiento actual. Es por esto que se empezó el trabajo de obtención de un registro de erupciones en la zona a partir de sus depósitos de tefra preservados en turberas. El objetivo principal de este trabajo es describir los resultados obtenidos en la turbera de Potrerillos, e identificar las posibles fuentes de los depósitos de caída de tefra ahí preservados.

## 2. METODOLOGÍA

El núcleo de perforación CCN-004 fue obtenido en la turbera de Potrerillos, ubicada al sureste del volcán Cerro Negro (Figura 2). La perforadora manual usada requirió del control continuo de la profundidad alcanzada con el uso de un flexómetro, lo que también permitió hacer un reconocimiento inicial de las diferentes capas de tefra caracterizadas por su color y granulometría. Así mismo, se realizó una breve descripción en campo de su color, tamaño de grano y componentes macroscópicos principales.



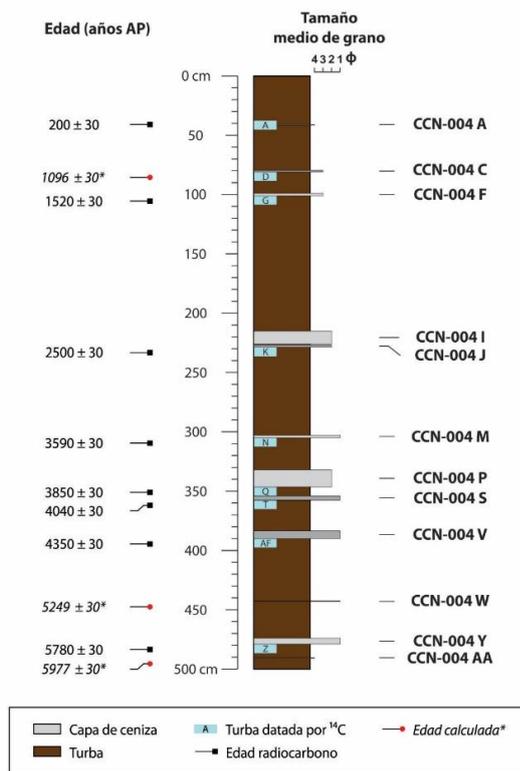
**Figura 2.** Localización de la perforación CCN-004 en la turbera de Potrerillos (Coordenadas WGS 1984 UTM 170724/89868, Ecuador Zona 18 N) y su relación con el complejo volcánico Chiles - Cerro Negro.

El testigo de perforación fue recubierto con papel aluminio y a su vez colocado en un tubo de PVC, envuelto con una película de plástico para su transporte, con el fin de que ningún contaminante externo afectara a los componentes de la turbera. En el laboratorio, los testigos de la perforación fueron introducidos dentro en un horno eléctrico a una temperatura de  $40^{\circ}\text{C}$  con el fin de eliminar la humedad sin que el agua estructural de sus componentes se evapore y no altere los resultados analíticos (International Volcanic Health Hazard Network, www.ivhnn.org). Durante el secado se realizó un

control continuo del peso hasta que la muestra quedó completamente seca. Al finalizar este proceso, los testigos de perforación se examinaron en detalle, identificando doce capas de tefra reconocibles en el testigo de perforación (Figura 3). Diez muestras de tefra fueron tomadas, para análisis granulométricos y de componentes, correspondientes a las de mayor espesor. Dos capas, A y AA, no fueron consideradas debido a la poca cantidad de material disponible para el análisis.

Además, nueve muestras de turba fueron tomadas bajo los niveles de tefra seleccionados (Tabla 1), para su correspondiente datación por radiocarbono, mediante el método AMS (Accelerator Mass Spectrometry). Estos análisis fueron realizados por el laboratorio Beta Analytic Inc. en Miami, Florida, EE.UU.

Las muestras de tefra fueron cuarteadas y tamizadas para diámetros de partículas de 1 mm, 500 µm, y 250 µm. En cada muestra se separó, en lo posible, la ceniza volcánica de la materia orgánica (e.g., pedazos de tallos, raíces y hojas). En la fracción superior obtenida (diámetro >250 µm) se realizó el análisis de componentes en base a un conteo de mil granos de ceniza por muestra.



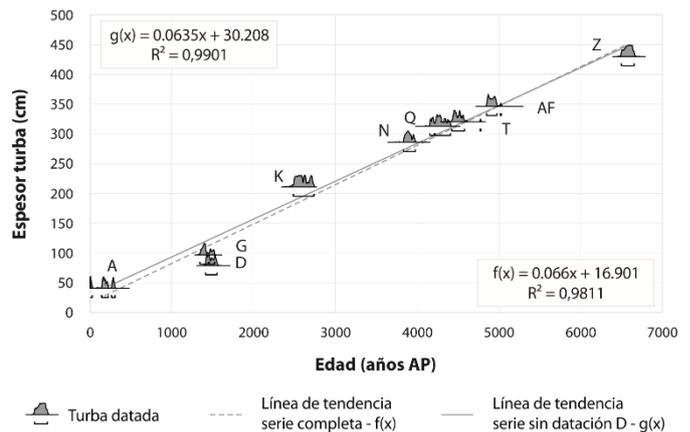
**Figura 3.** Secuencia estratigráfica de la turbera de Potrerillos junto con las ubicaciones, resultados de las dataciones radiocarbono y edades calculadas por interpolación lineal marcadas en *italico*.

### 3. EDAD DE LAS CAPAS DE TEFRA

Las edades registradas abarcan una secuencia entre 200±30 y 5780±30 años AP (edades no calibradas) y son coherentes con la estratigrafía, exceptuando los niveles CCN-004 C y F. La datación obtenida para la turba bajo la ceniza C (CCN-004 D) dio una edad de 1600±30 años AP, más antigua que la edad

registrada para la turba subyacente a la ceniza F (CCN-004 G) de 1520±30 años AP. Ambas edades en conjunto concuerdan estratigráficamente con la ceniza A de 200±30 años AP y la ceniza J de 2500±30 años AP ubicadas sobre y debajo de la ceniza F, respectivamente.

Al comparar el espesor acumulado de turba (sin contar los niveles de ceniza) con las edades calibradas obtenidas ( $2\sigma$ ) se puede observar una regresión lineal (Fig. 4) con un excelente coeficiente de determinación ( $R^2 > 0,98$ ). Eso indica que la tasa de desarrollo de la turba es constante en el tiempo, soportando la hipótesis de que los eventos volcánicos fueron puntuales y no alteraron la deposición de material orgánico (Samaniego et al., 1998). Dentro de la serie de datos, el único punto anómalo es la edad de la capa C. Esta capa y su turba subyacente (CCN-004 D) se encontraban a la base del primer núcleo de perforación, lo que pudo provocar una contaminación accidental; por lo tanto, esta edad será descartada del posterior análisis. Gracias a la tasa constante de crecimiento de la turba se pudo usar el método de interpolación lineal, de manera similar a lo realizado por Samaniego et al. (1998) para una turbera localizada en el volcán Cayambe en Ecuador, y así estimar la edad de las capas que no fueron datadas (cenizas C, W y AA).



**Figura 4.** Espesor acumulado de turba y sus edades radiocarbono representadas como funciones de densidad probabilística. Las líneas de tendencia calculadas para la serie completa  $f(x)$  y serie sin la ceniza C  $g(x)$  aparecen con líneas discontinua y continua, respectivamente.

Después de este análisis, las edades fueron calibradas con el programa OxCal (v4.2) de Bronk Ramsey (2009) y la curva de calibración atmosférica IntCal13 obtenida de Reimer et al. (2013).

### 4. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y ANÁLISIS DE COMPONENTES DE LAS CAPAS DE CENIZA

Las doce capas de ceniza identificadas tienen espesores que varían desde 0,5 cm (cenizas A, W y AA) hasta 14,5 cm (ceniza P) (Tabla 2). Debido a su pequeño espesor y cantidad de muestra asociada, las capas A y AA no se pudieron analizar en detalle. Es importante notar que ninguna capa presenta piroclastos de tamaño de lapilli (>2 mm) y que todas corresponden a capas de ceniza de tamaño medio a extremadamente fino según la clasificación de White & Houghton (2006). Exceptuando la capa M, todas las otras capas de ceniza tienen un sorteo aparente medio a bueno.

**Tabla 1.** Resultados radiocarbono y edades calibradas de las muestras tomadas del núcleo de la turbera de Potrerillos. Coordenadas UTM 170724/89868, WGS 1984, Zona 18 N.

Nivel de ceniza	Muestra	Material datado	Número de laboratorio	Edad <sup>14</sup> C (años AP)	Edad calibrada 68,2% (1σ) (años calendario)	Edad calibrada 95,4% (2σ) (años calendario)	δ13C (‰)
CCN-004 A	CCN-004 A	Turba circundante	BETA-400349	200 ± 30	AD 1660 - AD 1680 (17,9%) AD 1764 - AD 1801 (34,4%) AD 1938 - AD ... (19,3%)	AD 1646 - AD 1690 (24,9%) AD 1728 - AD 1810 (51,2%) AD 1926 - AD ... (19,3%)	-24,8
CCN-004 C	CCN-004 D	Turba subyacente	BETA-388595	1600 ± 30 <sup>a</sup>	AD 410 - AD 434 (18,4%) AD 452 - AD 470 (11,6%) AD 487 - AD 534 (38,2%)	AD 398 - AD 539 (95,4%)	-25,7
CCN-004 F	CCN-004 G	Turba subyacente	BETA-400350	1520 ± 30	AD 438 - AD 444 (3,6%) AD 473 - AD 486 (7,5%) AD 535 - AD 596 (57,1%)	AD 428 - AD 498 (29,9%) AD 505 - AD 609 (65,5%)	-25,6
CCN-004 J	CCN-004 K	Turba subyacente	BETA-388596	2500 ± 30	BC 766 - BC 744 (11,1%) BC 686 - BC 665 (10,8%) BC 644 - BC 552 (46,4%)	BC 788 - BC 536 (95,4%)	-25,6
CCN-004 M	CCN-004 N	Turba subyacente	BETA-400351	3590 ± 30	BC 2008 - BC 2004 (2,4%) BC 1976 - BC 1900 (65,8%)	BC 2028 - BC 1884 (95,4%)	-25,3
CCN-004 P	CCN-004 Q	Turba subyacente	BETA-388597	3850 ± 30	BC 2433 - BC 2422 (4%) BC 2402 - BC 2380 (9,4%) BC 2348 - BC 2278 (40,7%) BC 2251 - BC 2229 (10%) BC 2221 - BC 2210 (4,1%)	BC 2458 - BC 2269 (75,7%) BC 2260 - BC 2206 (19,7%)	-25,8
CCN-004 S	CCN-004 T	Turba subyacente	BETA-400352	4040 ± 30	BC 2618 - BC 2609 (5,3%) BC 2583 - BC 2558 (20,9%) BC 2536 - BC 2491 (42%)	BC 2832 - BC 2820 (2%) BC 2631 - BC 2474 (93,4%)	-25,5
CCN-004 V	CCN-004 AF	Turba subyacente	BETA-400353	4350 ± 30	BC 3010 - BC 2978 (28,4%) BC 2966 - BC 2951 (11%) BC 2942 - BC 2910 (28,8%)	BC 3081 - BC 3069 (2,7%) BC 3026 - BC 2900 (92,7%)	-26,1
CCN-004 Y	CCN-004 Z	Turba subyacente	BETA-388598	5780 ± 30	BC 4689 - BC 4594 (68,2%)	BC 4706 - BC 4550 (95,4%)	-25,8

<sup>a</sup> Edad radiométrica no concordante con la estratigrafía y descartada por posible contaminación durante la perforación.

Los piroclastos que conforman la ceniza volcánica fueron clasificados usando criterios texturales (forma, color, vesicularidad) según la clasificación de McPhie et al. (1993) y Eychenne & Le Penne (2012). (1) Pómez: clastos juveniles de composición intermedia a ácida y de tonalidad clara, muestran una textura vítrea con vesículas sub-esféricas. (2) Escoria: partículas juveniles compuestas de vidrio volcánico de composición básica a intermedia, color negro a marrón, y cuentan con vesículas observables a simple vista o bahías en los bordes de los granos. (3) Cristales libres: cristales euhedrales o fragmentos de ellos, liberados por fragmentación primaria de magmas porfiríticos. (4) Líticos densos: clastos micro-cristalinos no vesiculados de coloración oscura, se derivan de las partes desgasificadas del magma expulsado o de materiales no alterados del conducto. (5) Partículas oxidadas: fragmentos sub-redondeados de roca caja que son incorporados de las paredes del conducto y viento durante una erupción; presentan tonalidad rojiza y en ocasiones muestran minerales de origen hidrotermal. Los resultados obtenidos son presentados en la Tabla 2.

En base al análisis de componentes se observa que ninguna muestra posee un alto contenido de escoria y que la pómez es el principal material juvenil vesiculado. Exceptuando las capas I y J, la relación cristales libres/pómez es cercana a 1. Ninguna muestra tiene un alto contenido de líticos densos (<13%) o partículas oxidadas (<3.6%).

Se observa de manera evidente dos secuencias en base a la naturaleza de los minerales presentes: una secuencia rica en plagioclasa, biotita, anfíbol y cuarzo correspondiente a una asociación mineral típica de magmas ácidos (cenizas M, P, S, V, W, Y), y una segunda secuencia rica en plagioclasa, anfíbol y piroxeno correspondiente a magmas de composición intermedia (cenizas A, C, F, I, J, AA). Es importante notar que ninguna de las cenizas muestra una mineralogía asociada a una composición básica.

## 5. DISCUSIÓN SOBRE LAS FUENTES DE LAS CAPAS DE CENIZA IDENTIFICADAS

Por el momento no existe un registro de erupciones Holocénicas en el CV-CCN, además del depósito de avalancha de escombros del Cerro Negro (Cortés & Calvache, 1997). Debido a esto, antes de atribuir o no las capas de ceniza identificadas al CV-CCN es importante descartar otras posibles fuentes externas. En primer lugar, identificamos las posibles fuentes para las diferentes capas en base a los resultados geocronológicos obtenidos y las comparamos con la tefrocronología de otros volcanes de Ecuador (Santamaría, 2017) y Colombia. Es importante recordar que la mayoría de las edades obtenidas corresponden a muestras de turba subyacentes a los depósitos de caída de tefra, lo que implica que deben ser consideradas como edades mínimas. Por lo tanto, la comparación se restringió a las erupciones limitadas

**Tabla 2.** Características físicas y composición de los niveles de ceniza encontrados en la turbera de Potrerillos.

Nivel de ceniza	Espesor (cm)	Tamaño de grano (ceniza)		Sorteo aparente	Mineralogía	Comp. piroclásticos <sup>b</sup> (%)				
		Medio <sup>a</sup>	Máximo (µm)			P	E	LD	CL	PO
CCN-004 A	0,5	Extrem. fina	160	Bueno	Pl, Px, Am	-	-	-	-	-
CCN-004 C	1,5	Muy fina	420	Medio	Pl, Am, ±Px	53,8	0,0	1,3	42,5	2,3
CCN-004 F	2,0	Muy fina	1110	Medio	Pl, Am, Px	61,3	0,0	0,0	38,0	0,5
CCN-004 I	11,0	Fina	890	Medio	Pl, Am, Px	88,6	0,1	0,6	10,4	0,3
CCN-004 J	2,0	Fina	490	Medio	Pl, Px, Am	91,8	1,8	0,2	4,8	1,3
CCN-004 M	2,0	Medio	1470	Malo	Pl, Bt, Am, ±Qtz	59,9	0,0	13,0	29,1	2,0
CCN-004 P	14,5	Fina	1330	Bueno	Pl, Bt, Am	37,7	0,0	1,8	56,3	2,2
CCN-004 S	3,5	Medio	1560	Medio	Pl, Bt, Am, Qtz	52,6	0,0	6,0	40,5	0,9
CCN-004 V	6,5	Medio	1470	Bueno	Pl, Am, Bt, Qtz	50,5	0,0	0,8	45,1	3,6
CCN-004 W	0,5	Medio	1270	Medio	Pl, Bt, Am	52,3	0,2	11,2	34,5	1,8
CCN-004 Y	5,0	Medio	1200	Bueno	Pl, Bt, Am, Qtz	54,5	1,1	9,9	31,4	3,1
CCN-004 AA	0,5	Extrem. fina	330	Medio	Pl, Px, Am	-	-	-	-	-

<sup>a</sup> Valores de tamaño medio de grano son aparentes y siguen la clasificación de White & Houghton (2006).

<sup>b</sup> Porcentaje de participación de componentes piroclásticos basado en un conteo de 1000 granos. Clasificación según McPhie et al. (1993) y Eychenne & Le Pennec (2012): pómez (P), escoria (E), líticos densos (LD), cristales libres (CL) y partículas oxidadas (PO).

**Tabla 3.** Volcanes activos y potencialmente activos de Ecuador y Colombia y su VEI mínimo requerido para acumular > 1 cm de tefra en turbera de Potrerillos. Los volcanes descartados son presentados en *italico*.

Centro volcánico	Última erupción conocida	VEI máximo durante el Holoceno	Altura (msnm)	Latitud (°)	Longitud (°)	Distancia (km)	VEI mínimo (> 1 cm en turbera de Potrerillos)
<b>Ecuador</b>							
Cerro Negro	-	-	4429	0,82	-77,97	1,6	1
Chiles	-	-	4707	0,82	-77,94	2,4	1
Chachimbiro	5590 - 5460 AP	3	4034	0,46	-78,29	53,3	3
Imbabura	3150 - 1550 AP	3	4545	0,25	-78,18	66,7	4
Cuicocha	3448 - 2719 AP	4	3318	0,31	-78,35	71,0	4
Cayambe	1785 - 1786 AD	4	5759	0,03	-77,99	87,5	4
Reventador	2016 AD	4	3539	-0,08	-77,66	104,7	4
Pululahua	2251 - 2160 AP	5	3316	-0,03	-78,47	109,7	4
G. Pichincha	2001 AD	5	4742	-0,17	-78,61	131,4	4
Atacazo-Ninahuilca	2346 - 2306 AP	5	4395	-0,36	-78,62	149,2	4
Cotopaxi	2015 AD	5	5859	-0,68	-78,44	174,2	5
Quilotoa	790 - 690 AP	6	3872	-0,86	-78,89	213,2	5
Tungurahua	2016 AD	5	4994	-1,47	-78,44	259,3	5
<i>Chimborazo</i>	<i>1528 - 1326</i>	<i>4</i>	<i>6279</i>	<i>-1,47</i>	<i>-78,82</i>	<i>270,7</i>	<i>5</i>
<i>Sangay</i>	<i>2016 AD</i>	<i>3</i>	<i>5302</i>	<i>-2,01</i>	<i>-78,34</i>	<i>316,0</i>	<i>5</i>
<b>Colombia</b>							
Cumbal	1926 AD	2	4764	0,95	-77,87	18,2	2
Azufra	2880 AP	4	4070	1,08	-77,68	42,9	3
<i>Galeras</i>	<i>2014 AD</i>	<i>3</i>	<i>4276</i>	<i>1,22</i>	<i>-77,37</i>	<i>79,5</i>	<i>4</i>
Doña Juana	1906 AD	4	4137	1,50	-76,94	136,9	4
<i>Purace</i>	<i>1977</i>	<i>3</i>	<i>4650</i>	<i>2,32</i>	<i>-76,40</i>	<i>240,9</i>	<i>5</i>
<i>Nevado del Huila</i>	<i>2012 AD</i>	<i>3</i>	<i>5364</i>	<i>2,93</i>	<i>-76,03</i>	<i>318,2</i>	<i>5</i>
<i>Nevado del Tolima</i>	<i>1943 AD</i>	<i>5</i>	<i>5215</i>	<i>4,66</i>	<i>-75,33</i>	<i>517,5</i>	<i>6</i>
<i>Nevado del Ruiz</i>	<i>2016 AD</i>	<i>4</i>	<i>5279</i>	<i>4,89</i>	<i>-75,32</i>	<i>539,5</i>	<i>6</i>
<i>Cerro Bravo</i>	<i>1720 (±150) AD</i>	<i>4</i>	<i>3985</i>	<i>5,09</i>	<i>-75,29</i>	<i>560,0</i>	<i>6</i>

entre las edades calibradas (2σ) máxima y mínima más un margen de ~200 años hacia el presente. Este margen fue agregado considerando que la fecha obtenida corresponde a la

formación del depósito orgánico previo a la deposición de las capas de tefra, y no al depósito de tefra en sí mismo.

**Tabla 4.** Edades comparativas de las capas de ceniza encontradas con los principales eventos volcánicos contemporáneos cercanos al CV-CCN.

Unidad estratigráfica	Edad <sup>a</sup> (años AP)	Centro volcánico	VEI	Composición	Mineralogía <sup>b</sup>	Edad <sup>c</sup> (años AP)	Referencia
		Cumbal	2	Andesita		24	Global Volcanism Program
		Doña Juana	4	Andesita		53-44	Global Volcanism Program
		Cumbal	2	Andesita		73	Global Volcanism Program
		Cayambe		Andesita/Dacita	Pl, Am, Px, Mag	165	Samaniego et al., 1998
		Cotopaxi (Mb)	4	Andesita (E)	Pl, Px	182	Hall & Mothes, 2008
		Cotopaxi (Mt)	4	Andesita (P)	Pl, Px	206	Hall & Mothes, 2008
CCN-004 A	222 - 140						
		Cayambe (PF1)	4	Andesita/Dacita	Pl, Px, Am	910	Samaniego et al., 1998
		G. Pichincha	5	Andesita/Dacita (P)	Pl, Am, Px, ±Mag	1180 - 910	Robin et al., 2008
CCN-004 C	1060 - 938 <sup>d</sup>						
		Cotopaxi (L1)	4	Andesita (E, P)	Pl, Px	1188 - 1058	Hall & Mothes, 2008
CCN-004 F	1445 - 1341						
		Cotopaxi (Peñas Blancas)	4	Riolita (P)	Pl, Bt, Qtz, Mag	2120 - 1925	Hall & Mothes, 2008
		Ninahuilca (N6)	5	Dacita (P)	Pl, Am, ±Px	2350 - 2300	Hidalgo et al., 2008
		Cayambe (Fase 2)		Andesita/Dacita		2510	Samaniego et al., 1998
		Pululahua	5	Dacita (P)	Pl, Am, ±Mag	2732 - 2431	Andrade, 2002
CCN-004 I-J	2738 - 2486						
		Azufral	4	Dacita		2880	Global Volcanism Program
		Cayambe (Fase 1)		Andesita/Dacita		3600 - 3520	Samaniego et al., 1998
		Azufral		Dacita/Riodacita	Pl, Bt, Am, Qz	3886 - 3590	Fontaine & Stix, 1993
CCN-004 M	3978 - 3834						
		Azufral		Dacita/Riodacita	Pl, Bt, Am, Qz	4092 - 3701	Fontaine & Stix, 1993
CCN-004 P	4408 - 4219						
		Azufral		Dacita		4439 - 3904	Bechon & Monsalve, 1991
CCN-004 S	4581 - 4424						
		Azufral		Dacita/Riodacita	Pl, Bt, Am, Qz	4622 - 4248	Fontaine & Stix, 1993
		Azufral		Dacita		4840 - 4402	Bechon & Monsalve, 1991
CCN-004 V	4976 - 4850						
		Ninahuilca (N5)	5	Dacita (P)	Pl, Am	5060 - 4860	Hidalgo et al., 2008
		Doña Juana	4	Andesita		5032 - 4960	Global Volcanism Program
		Chachimbiro	3	Riodacita	Pl, Qtz, Bt	5590 - 5460	Bernard et al., 2014
CCN-004 W	6031 - 5926 <sup>d</sup>						
		Ninahuilca (N4)	4	Dacita (P)	Pl, Qtz	6450 - 5940	Hidalgo et al., 2008
		Cotopaxi (Serie riolítica F)	4	Dacita/Andesita (P, E)	Pl, Am, Px, Mag	6650 - 5300	Hall & Mothes, 2008
CCN-004 Y	6656 - 6500						
		Cotopaxi (Serie riolítica F)	5	Riolita (P)	Pl, Bt, Mag, ±Qtz	6750 - 6650	Hall & Mothes, 2008
CCN-004 AA	6895 - 6736 <sup>d</sup>						
		Cerro Negro		Andesita		7030 - 6782	Cortés & Calvache, 1997

<sup>a</sup> Edades calibradas  $2\sigma$  transformadas a años AP (1950, año convencional de referencia).

<sup>b</sup> Composición general junto con su principal material juvenil vesiculado: escoria (E) y pómez (P).

<sup>c</sup> Edades bibliográficas calibradas con el programa OxCal v4.2 (Bronk Ramsey, 2009) y la curva IntCal13 (Reimer et al., 2013). Aquellas con calibración bibliográfica no fueron modificadas.

<sup>d</sup> Edades calculadas por interpolación lineal a partir de los niveles de ceniza dados (Samaniego et al., 1998).

Posteriormente, se compararon las características físicas de los depósitos (espesor, tamaño de grano medio y máximo, sorteo aparente) y sus componentes (tipo y proporción de componentes, tipos de minerales) para concluir si existe o no una erupción reconocida y bien estudiada que coincida con los depósitos encontrados.

En depósitos naturales de caídas de tefra, típicamente se observa una disminución del espesor y del tamaño de grano a medida que aumenta la distancia a la fuente, mientras que el sorteo mejora (Walker, 1971; Pyle, 1989). Se pueden utilizar leyes empíricas de decaimiento para estimar parámetros eruptivos, como el volumen de la caída o la altura de la

columna, pero estas requieren de muchos puntos de control para hacer mapas de dispersión, lo cual no es objeto de este estudio. Sin embargo, podemos utilizar las características de las capas encontradas para proponer escenarios eruptivos. Por ejemplo, una capa delgada con un buen sorteo aparente y un tamaño máximo de grano fino, corresponde probablemente a un depósito distal; mientras que una capa potente con sorteo malo y un tamaño de grano grueso corresponde probablemente a un depósito proximal. Por supuesto al tener sólo una observación por cada depósito, este análisis puede ser afectado significativamente por la dirección y velocidad del viento en el momento de la erupción al igual que por las condiciones de acumulación en la turbera en el momento de depósito.

De la misma manera, los componentes del depósito indican la composición relativa de la erupción. La pómez es un producto eruptivo típicamente relacionado con erupciones explosivas de composición intermedia a ácida mientras que la escoria está relacionada con erupciones básicas a intermedias; ejemplo de estos dos tipos son las erupciones de Quilotoa hace ~800 años AP (Mothes & Hall, 2008) y Tungurahua en 2006 (Samaniego et al, 2011), respectivamente. Adicionalmente, los minerales ferromagnesianos (biotita, anfíbol, piroxeno) permiten afinar la apreciación de su composición. Finalmente, la proporción entre material vesiculado y cristales libres puede dar una indicación sobre la distancia de la fuente; puesto que los cristales libres son más densos que el material vesiculado, y tienden a sedimentarse más cerca del viento (Pyle, 1989, Eychenne et al., 2013).

Existen demasiados volcanes en Ecuador y Colombia que tuvieron erupciones en periodos cercanos a las edades obtenidas en este estudio. Para reducir el número de candidatos se consideró la distancia entre estas posibles fuentes y la turbera de Potrerillos; así como el tamaño de estas erupciones usando el volumen de tefra correspondiente al límite superior del Índice de Explosividad Volcánica (VEI) asignado en las bases de datos. Se realizaron simulaciones con la aplicación en línea del programa Ash3D (Mastin et al., 2013) para estimar el alcance de la ceniza en los diferentes escenarios. Por ejemplo, para alcanzar una acumulación de más de 1 cm, la fuente debería ubicarse a menos de 25, 55, 150, y 415 km para VEI 2, 3, 4 y 5 respectivamente. Por supuesto, esto depende de la dirección y velocidad del viento en el momento de la erupción. Sin embargo, estos resultados nos permiten limitar de manera objetiva el número de candidatos. De esta forma, podemos excluir los volcanes del norte del arco colombiano (Cerro Bravo, Nevado de Tolima, Nevado del Ruiz) y del sur del arco ecuatoriano (Sangay, Tungurahua, Chimborazo) como fuentes de las capas (Tabla 3).

La comparación entre las edades obtenidas en la turbera de Potrerillos y el registro de erupciones Holocénicas (Tabla 4) muestra que las potenciales fuentes son los volcanes: Cumbal, Doña Juana y Azufral en Colombia, y Cayambe, Cotopaxi, Pichincha, Ninahuilca (Atacazo), Pululahua y Chachimbiro en Ecuador. No obstante, al analizar las características de los depósitos (granulometría y componentes) las fuentes potenciales se reducen drásticamente.

Las capas del grupo de composición ácida (cenizas M, P, S, V, W, Y) tienen el carácter menos distal con tamaño de grano medio a fino y sorteo malo a bueno. Sin embargo, ninguna tiene un carácter claramente proximal lo que descarta una relación con el CV-CCN. Se descartan como fuentes cercanas para este grupo el Cumbal y Galeras por su composición intermedia (Droux & Delaloye, 1996; Banks et al., 1997). Igualmente se descartan como fuentes con composición ácida a los volcanes Ninahuilca, Cotopaxi, Chachimbiro, Cayambe y Doña Juana por su gran distancia a la turbera (Tabla 3). La fuente cercana con actividad contemporánea y de composición similar es el volcán Azufral en Colombia. Las cenizas M, P y S probablemente se relacionan con la actividad dacítica del volcán Azufral registrada entre ~4100, ~3600 y ~3470 años AP (edades no calibradas) (Bechon & Monsalve, 1991;

Fontaine & Stix, 1993). Adicionalmente la capa V probablemente corresponde al marcador regional con biotita descrito en el artículo de Banks et al. (1997). Estos autores sugieren una fuente al sur del volcán Galeras para esta capa, lo que concuerda con la ubicación del volcán Azufral.

Las capas del grupo de composición intermedia (cenizas A, C, F, I, J, AA) tienen el carácter más distal con tamaño de grano fino a extremadamente fino y sorteo medio a bueno. Consecuentemente ninguna de estas capas estaría relacionada con el CV-CCN. Este segundo grupo es mucho más difícil de relacionar con un volcán en particular debido a su carácter distal y su composición intermedia/ácida. La capa mejor definida es la ceniza C, la cual tiene una edad estimada y una composición similares a la erupción del volcán Guagua Pichincha del siglo X (Robin et al., 2008). Adicionalmente el eje de dispersión durante esta erupción fue determinado por Vallejo (2011) hacia el NNW lo que explicaría su presencia en la turbera de Potrerillos. La capa A podría estar relacionada con el último ciclo eruptivo del complejo Doña Juana de 1897 a 1906 (Navarro et al., 2009) o con la erupción del volcán Cumbal de 1877 (Alarcón et al, 2000). No se pudo relacionar las capas F, I, J y AA con un volcán en particular, sin embargo, por sus tipos de minerales y su composición, es probable que correspondan a volcanes del frente volcánico (Cordillera Occidental).

## 6. CONCLUSIONES

Dados los resultados obtenidos de la turbera de Potrerillos se puede concluir que:

a) Las turberas en el páramo son sitios muy favorables para el registro y preservación de capas de ceniza generadas tanto por fuentes distales como proximales.

b) El análisis de componentes litológicos reveló dos grupos de ceniza: 1) un grupo de cenizas con composición ácida (cenizas M, P, S, V, W y Y) de edad entre ~6650 y 3830 años AP con fuente probable el volcán Azufral; 2) un grupo de cenizas con composición intermedia a ácida (cenizas A, C, F, I, J y AA) con fuentes probablemente ubicadas en el frente volcánico (Cordillera Occidental). Dentro del segundo grupo, la única capa bien definida correspondería a la erupción del volcán Guagua Pichincha del siglo X (ceniza C).

c) Como resultado principal se puede establecer que las capas de ceniza encontradas no pertenecen al CV-CCN por sus características granulométricas y sus componentes. Esto implica que no habría existido una actividad explosiva significativa en dicho complejo para el periodo de tiempo registrado en la turbera (últimos ~6900 años). Esta conclusión es importante ya que modifica nuestra visión del complejo volcánico, y tiene consecuencias en la evaluación del peligro volcánico.

## REFERENCIAS

- Alarcón, A., Rodríguez, E., & Escallón, J. (2000). *Atlas de Amenaza Volcánica en Colombia*. Ingeominas. 119 p.
- Andrade, D. (2002). *Estudio geovolcanológico del complejo volcánico*

- Pululahua*. Tesis de ingeniero geólogo. Escuela Politécnica Nacional, Quito-Ecuador. 186.
- Banks, N., & Williams, S. (1997).  $^{14}\text{C}$  ages and activity for the past 50 ka at Volcán Galeras, Colombia. *Journal of volcanology and geothermal research*, 77(1), 39-55.
- Barberi, F., Coltelli, M., Ferrara, G., Innocenti, F., Navarro, J., & Santacrose, R. (1988). Plio-quaternary volcanism in Ecuador. *Geological Magazine*, 125(01), 1-14.
- Bechon, F., & Monsalve, M. (1991). Activité récente préhistorique du volcan Azufral (SW de la Colombie). *Comptes rendus de l'Académie des sciences. Série 2, Mécanique, Physique, Chimie, Sciences de l'univers, Sciences de la Terre*, 313(1), 99-104.
- Bernard, B., & Andrade, D. (2011). *Mapa de Volcanes Cuaternarios del Ecuador Continental*. Quito, Ecuador. IGEPN/IRD Poster Informativo.
- Bernard, B., Hidalgo, S., Robin, C., Beate, B., & Quijozaca, J. (2014). The 3640–3510 BC rhyodacite eruption of Chachimbiro compound volcano, Ecuador: a violent directed blast produced by a satellite dome. *Bulletin of Volcanology*, 76(9), 1-20.
- Bonadonna, C., & Houghton, B. F. (2005). Total grain-size distribution and volume of tephra-fall deposits. *Bulletin of Volcanology*, 67(5), 441-456.
- Bronk Ramsey, C. (2009). Bayesian analysis of radiocarbon dates. *Radiocarbon*, 51(1), 337-360.
- Cortés, G., & Calvache, M. (1997). Informe sobre la evaluación de la amenaza volcánica del Chiles y Cerro Negro. *IGEOMINAS*.
- Droux, A., & Delaloye, M. (1996). Petrography and geochemistry of Plio-Quaternary calc-alkaline volcanoes of southwestern Colombia. *Journal of South American Earth Sciences*, 9(1-2), 27-41.
- Eychenne, J., & Le Pennec, J. L. (2012). Sigmoidal particle density distribution in a subplinian scoria fall deposit. *Bulletin of volcanology*, 74(10), 2243-2249.
- Eychenne, J., Le Pennec, J. L., Ramón, P., & Yepes, H. (2013). Dynamics of explosive paroxysms at open-vent andesitic systems: high-resolution mass distribution analyses of the 2006 Tungurahua fall deposit (Ecuador). *Earth and Planetary Science Letters*, 361, 343-355.
- Fontaine, E., & Stix, J. (1993). Evolution pétrologique et géochimique du complexe de dômes du volcan Azufral (Colombie, Amérique du Sud). *Comptes rendus de l'Académie des sciences. Série 2, Mécanique, Physique, Chimie, Sciences de l'univers, Sciences de la Terre*, 317(11), 1501-1508.
- Global Volcanism Program. (2013) *Volcanoes of the World*, v. 4.5.0. Venzke, E (ed.). Smithsonian Institution. Recuperado de <http://volcano.si.edu>. Último acceso: 19 jun 2016.
- Hall, M., y Mothes, P. (1999). La actividad volcánica del Holoceno en el Ecuador y Colombia Austral, Impedimento al desarrollo de las civilizaciones pasadas. En *Actividad Volcánica y pueblos precolombinos en el Ecuador*. P. Mothes. Quito-Ecuador, Ediciones ABYA-YALA: 205.
- Hall, M., & Mothes, P. (2008). The rhyolitic–andesitic eruptive history of Cotopaxi volcano, Ecuador. *Bulletin of Volcanology*, 70(6), 675-702.
- Hall, M., Samaniego, P., Le Pennec, J., & Johnson, J. (2008). Ecuadorian Andes volcanism: A review of Late Pliocene to present activity. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 176(1), 1-6.
- Hidalgo, S., Monzier, M., Almeida, E., Chazot, G., Eissen, J. P., van der Plicht, J., & Hall, M. L. (2008). Late Pleistocene and Holocene activity of the Atacazo–Ninahuilca volcanic complex (Ecuador). *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 176(1), 16-26.
- Hidalgo, S., Robles, A., Andrade, D., Bernard, B., Ramón, P. Mothes, P., Ordoñez, J., & Ruiz, G. (2015). *Los volcanes activos y potencialmente activos del Ecuador continental y sus redes de monitoreo*. Instituto Geofísico, Escuela Politécnica Nacional, Quito-Ecuador, 39 p.
- Instituto Geofísico EPN. (20/oct/2014). Informe del volcán Chiles – Cerro Negro N°23. Quito, Ecuador. Recuperado de <http://www.igepn.edu.ec/informes-volcanicos/chiles-cerro-negro/ccn-especiales/ccn-e-2014/148-informe-del-volcan-chiles-cerro-negro-no-23-2014/file>. Último acceso: 19 jun 2016.
- Instituto Geofísico EPN. (23/oct/2014). Informe del volcán Chiles – Cerro Negro N°25. Quito, Ecuador. Recuperado de <http://www.igepn.edu.ec/chiles-cerro-negro/informes-chiles-cerro-negro/ccn-especiales/ccn-e-2014/150-informe-del-volcan-chiles-cerro-negro-no-25-2014/file>. Último acceso: 19 jun 2016.
- Instituto Geofísico EPN. (25/jul/2015). Informe del volcán Chiles – Cerro Negro N°22. Quito, Ecuador. Recuperado de <http://www.igepn.edu.ec/chiles-cerro-negro/informes-chiles-cerro-negro/ccn-especiales/ccn-e-2015/13047-informe-del-volcan-chiles-cerro-negro-n-22-junio-2015/file>. Último acceso: 19 jun 2016.
- Mastin, L., Randall, M., Schwaiger, H., & Denlinger, R. (2013). *User's guide and reference to Ash3d: a three-dimensional model for Eulerian atmospheric tephra transport and deposition* (No. 2013-1122). US Geological Survey.
- McPhie, J. (1993). *Volcanic textures: a guide to the interpretation of textures in volcanic rocks*. Tasmania: CODES: 196 PP.
- Mothes, P., & Hall, M. (2008). The plinian fallout associated with Quilotoa's 800yr BP eruption, Ecuadorian Andes. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 176, 56–69.
- Navarro, S., Pulgarín, B., Monsalve, M., Cortés, G., Calvache, M., Pardo, N., & Murcia, H. (2009). *Doña Juana Volcanic Complex (DJVC), Nariño: geology and eruptive history*. *Boletín de Geología*, 31(2), 109-118.
- Olade, Inecel, & Icel. (1987). Proyecto Geotérmico Binacional Tufiño-Chiles-Cerro Negro, Estudio de Prefactibilidad, *Tercer Informe Trimestral*. Aquatec, Milano, Italia. 116 p.
- Pyle, D. (1989). The thickness, volume and grainsize of tephra fall deposits. *Bulletin of Volcanology*, 51(1), 1-15.
- Reimer, P. J., Bard, E., Bayliss, A., Beck, J. W., Blackwell, P. G., Ramsey, C. B., ... & Grootes, P. M. (2013). IntCal13 and Marine13 radiocarbon age calibration curves 0–50,000 years cal BP. *Radiocarbon*, 55(4), 1869-1887.
- Robin, C., Samaniego, P., Le Pennec, J. L., Mothes, P., & Van Der Plicht, J. (2008). Late Holocene phases of dome growth and Plinian activity at Guagua Pichincha volcano (Ecuador). *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 176(1), 7-15.
- Samaniego, P., Le Pennec, J. L., Robin, C., & Hidalgo, S. (2011). Petrological analysis of the pre-eruptive magmatic process prior to the 2006 explosive eruptions at Tungurahua volcano (Ecuador). *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 199(1), 69-84.
- Samaniego, P., Monzier, M., Robin, C., & Hall, M. L. (1998). Late Holocene eruptive activity at Nevado Cayambe Volcano, Ecuador. *Bulletin of Volcanology*, 59(7), 451-459.
- Santamaría, S. (2017). *Catálogo de eventos volcánicos ocurridos en el*

Ecuador continental desde el Plioceno y análisis de la frecuencia eruptiva. Trabajo de titulación de ingeniero geólogo. Escuela Politécnica Nacional, Quito-Ecuador. 166.

Telenchana, E., Bernard, B., Hidalgo, S., & Beate, B. (2017). Modelo Evolutivo del Volcán Chiles. En Cabero, A. (ed.) et al. *Memorias VIII Jornadas en Ciencias de la Tierra*. EPN Editorial. Quito-Ecuador. 391-396.

The International Volcanic Health Hazard Network (IVHHN). (s.f.). Guidelines for Grain-Size Distribution Analysis. Institute of Hazard, Risk & Resilience, Durham University, UK. Recuperado de [http://www.ivhnn.org/index.php?option=com\\_content&view=article&id=107](http://www.ivhnn.org/index.php?option=com_content&view=article&id=107). Último acceso: 19 jun 2016.

Vallejo, S. (2011). *Distribución de las cenizas volcánicas holocénicas-tardías en la Costa del Ecuador*. Tesis de ingeniero geólogo. Escuela Politécnica Nacional, Quito-Ecuador.

Walker, G. (1971). Grain-size characteristics of pyroclastic deposits. *The Journal of Geology*, 696-714.

White, J., & Houghton, B. (2006). Primary volcanoclastic rocks. *Geology*, 34(8), 677-680.



**Santamaría, Santiago.** Nacido en Ambato-Ecuador, el 17 de agosto de 1992. Ingeniero en Geología de la Escuela Politécnica Nacional. Se desempeña como asistente de monitoreo en el área de Vulcanología del Instituto Geofísico de la EPN. Sus líneas de investigación son: geología, geomorfología, vulcanología, desarrollo de bases de datos, geocronología, recurrencia de erupciones volcánicas y dataciones por radiocarbono y potasio-argón.



**Telenchana, Edwin.** Nacido en Quito-Ecuador, el 07 de abril de 1992. Egresado de la facultad de ingeniería Geológica de la Escuela Politécnica Nacional. Se desempeña como asistente de monitoreo en el área de Vulcanología del Instituto Geofísico de la EPN. Sus líneas de investigación son: geología, geomorfología, vulcanología, geoquímica, petrología, geocronología, recurrencia de erupciones volcánicas y datación por radiocarbono.



**Bernard, Benjamin.** Nacido en Chalon-sur-Saône-Francia, el 25 de septiembre de 1981. Ha recibido el grado de doctor (PhD) con especialidad en Vulcanología de la Universidad Blaise Pascal de Clermont-Ferrand (Francia). Se desempeña como Docente de la facultad de ingeniería Geológica de la Escuela Politécnica Nacional. También es investigador del área de Vulcanología del Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional. Sus líneas de investigación son: depósitos volcánicos y dinamisismos eruptivos, historia y evolución de volcanes, y evaluación de la amenaza volcánica.



**Hidalgo, Silvana.** Nacida en Quito-Ecuador, el 06 de junio de 1978. Ingeniera en Geología de la Escuela Politécnica Nacional. Ha recibido el grado de doctor (PhD) con especialidad en Vulcanología-Geoquímica de la Universidad Blaise Pascal de Clermont-Ferrand (Francia). Se desempeña como Docente de la facultad de ingeniería Geológica de la Escuela Politécnica Nacional. También es investigadora y Coordinadora del área de Vulcanología del Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional. Sus líneas de investigación son: geoquímica y geocronología del Arco Ecuatoriano, y fluidos volcánicos.



**Beate, Bernardo.** Nacido en Quito-Ecuador, el 12 de diciembre de 1949. Ingeniero en Geología de la Escuela Politécnica Nacional. Se desempeña como Docente e Investigador de la facultad de ingeniería Geológica de la Escuela Politécnica Nacional y colaborador del Instituto Geofísico de la EPN. Sus líneas de investigación son: geología, geomorfología, vulcanología, petrología, geotermia y yacimientos minerales.



**Córdova, Marco.** Nacido en Quito-Ecuador, el 11 de mayo de 1990. Egresado de la facultad de ingeniería Geológica de la Escuela Politécnica Nacional. Se desempeña como asistente de monitoreo en el área de Vulcanología del Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional. Sus líneas de investigación son: geología, geomorfología, vulcanología, geoquímica, petrología, geocronología, recurrencia de erupciones volcánicas y datación por radiocarbono.



**Narváez, Diego F.** Nacido en Macas-Ecuador, el 20 de febrero de 1991. Ingeniero Geólogo (2014) de la Escuela Politécnica Nacional. Máster en ciencias de la tierra "Magmas y Volcanes" (2016) de la Universidad Clermont Auvergne (Francia). Actualmente se desempeña como Docente e Investigador en el departamento de Geología de la Escuela Politécnica Nacional y como colaborador en el área de Vulcanología del Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional.