

ESTUDIO COMPARATIVO DE MORFOMETRÍA E HISTORIA EROSIVA EN CAMPOS VOLCÁNICOS MONOGENÉTICOS INTRACONTINENTALES DE LA PATAGONIA SEPTENTRIONAL

**MASSAFERRO, Gabriela^{1,2}; HALLER, Miguel J.^{1,2}; PREZ, Horacio¹;
SIMEONI, Alejandro¹ y MEISTER, Carlos^{1,2}**

¹. Universidad Nacional de la Patagonia

². CONICET-CENPAT

gim@cenpat.edu.ar

Resumen

Se aplicaron técnicas de morfometría volcánica para caracterizar campos volcánicos monogenéticos del norte de Patagonia y para calcular sus edades relativas. Los conos piroclásticos fueron agrupados por su ubicación geográfica: río Negro, río Chico y Chubut sur. Se midieron los parámetros morfométricos principales: diámetro de cono (Dco), diámetro de cráter (Dcr), altura de cono (Hco), azimut de elongación y de aporillamiento de cono y se calculó el volumen. Los de mayor dimensión tienden a ser los conos de Chubut sur y los más antiguos en cuanto a su edad relativa, los conos del río Chico. Utilizando una tasa de disminución de pendiente de 9° por Ma para campos volcánicos próximos, se obtuvieron edades morfométricas calculadas entre 1.7 y 3.3 Ma. La edad relativa obtenida a través de la relación Hco/Dco es consistente con la edad promedio calculada de los conos más antiguos.

Palabras clave: morfometría volcánica - volcanes monogenéticos - Cuaternario - Patagonia.

COMPARATIVE STUDY OF MORPHOMETRY AND EROSION HISTORY OF INTRACONTINENTAL MONOGENETIC VOLCANIC FIELDS OF NORTHERN PATAGONIA

Abstract

Techniques of volcanic morphometry were applied to characterize northern Patagonian monogenetic volcanic fields and to calculate its relative ages. The pyroclastic cones, mainly scoria and spatter cones, were grouped by their geographic location: Río Negro, Río Chico and Chubut Sur. The principal morphometric parameters were measured for each cone such as cone diameter (Dco), crater diameter (Dcr), cone height (Hco), azimuth of breaching and elongation. Also the volume was calculated. The measurements indicate that the Chubut Sur cones tend to be the larger ones while Río Chico cones are the oldest in relative age. Using a rate of slope degradation of 9° per million years, morphometric calculated ages between 1.7 and 3.3 Ma were obtained. The relative age given by the relation Hco/Dco is consistent with the mean calculated age of the older cones.

Key words: volcanic morphometry - monogenetic volcanoes - Quaternary - Patagonia.

Introducción

La morfometría volcánica es una técnica que emplea las medidas de parámetros morfológicos de conos volcánicos con distintos objetivos como, por ejemplo, calcular tasas de erosión y edades relativas (Scott y Trask, 1971; Settle, 1979; Wood, 1980a y b; Karátson, 1996; Hooper y Sheridan, 1998; Inbar y Risso, 2001; Haller et al., 2013), determinar estilos eruptivos involucrados (Favalli et al., 2005), evolución del paisaje volcánico (Inbar et al., 2011) e incluso, evaluar qué tipo de erupción es más probable que se produzca en una región y valorar el riesgo volcánico (Dóniz et al., 2008). Esta metodología se aplica principalmente en conos de escoria que son las formas volcánicas más comunes del planeta (Wood, 1980b). Se forman por la acumulación de eyectos piroclásticos (cenizas, bombas, salpicaduras) que, en trayectoria balística, se depositan alrededor de un conducto central. Conforman un edificio en forma de colina con un cráter central en forma de cuenco. Son el resultado de un solo evento eruptivo de duración variable de tipo hawaiano, stromboliano o pliniano. En general, se asocian a ambientes extensionales. La altura del cono, la relación altura/diámetro y la pendiente del cono disminuyen durante los procesos de degradación con la edad (Scott y Trask, 1971; Wood, 1980a) y constituyen la base para la datación relativa de los conos.

A partir del trabajo pionero de Colton (1936, reeditado en 1967) que clasificó los conos de escoria del campo volcánico de San Francisco (Arizona) según su estado de degradación, siguieron los trabajos de Segerstrom (1950, 1960, 1966) focalizados en el avance de la degradación del volcán Parícutín en México. Porter (1972) fue el primero en cuantificar las relaciones entre los parámetros morfológicos de los conos de escoria en el volcán Mauna Kea (Hawái) y otros estudios como los de Settle (1979), Wood (1980a y b), Hooper y Sheridan (1978) entre muchos otros. En la Argentina, el primer trabajo de estas características fue realizado por Inbar y Risso (2001) en el campo volcánico de Payún Matru (provincia de Mendoza). Haller et al. (2013) caracterizaron morfométricamente y establecieron tasas de erosión en el campo volcánico del Basalto Cráter (Chubut).

El objetivo del presente trabajo es obtener parámetros morfológicos de los conos de escoria de los campos volcánicos monogenéticos de la Patagonia extraandina septentrional e intentar establecer edades relativas para los mismos.

La localización de los campos volcánicos se puede apreciar en la Fig. 1. Se encuentran concentrados en las provincias de Río Negro (Comallo, Huahuel Niyeu, Pihlahuincó Chico y Río Chico) y Chubut (Pampa de Agnia, valle del río Genoa, Pampa de los Guanacos, meseta de Canquel y Pampa Negra). De acuerdo a la clasificación de Settle (1979) son campos de conos de plataforma, lo que significa que se encuentran sobre una superficie horizontal plana y relativamente elevada. La mayoría carece de dataciones absolutas, excepto algunas lavas procedentes de los campos volcánicos de

Pampa de los Guanacos, Pampa de Agnia y valle del río Genoa (Tabla 1). Entre los campos volcánicos de Río Negro y los de Chubut Sur se encuentra el Campo Volcánico del Basalto Cráter cuya morfometría fuera descrita por Haller et al. (2013).

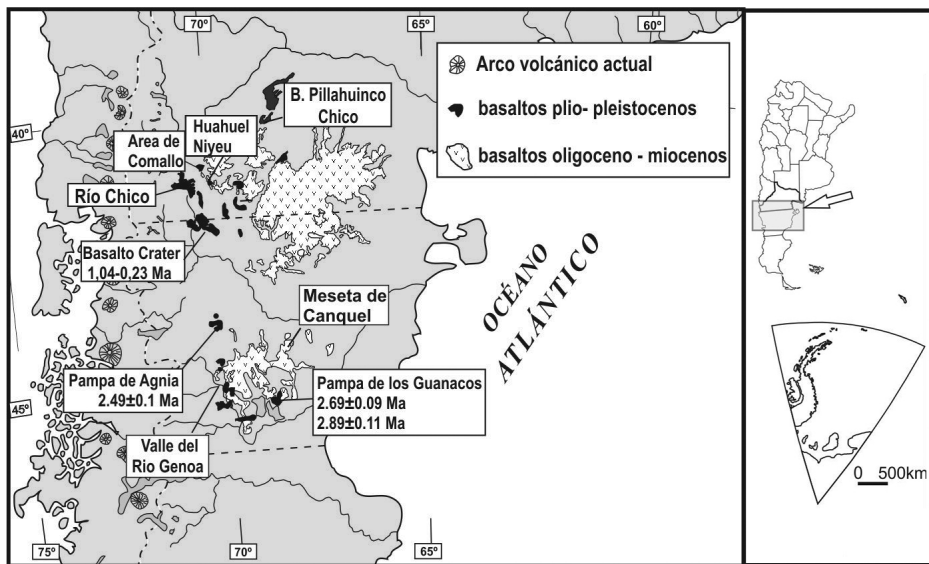


Fig. 1. Mapa de ubicación de los campos volcánicos.

Características climáticas del área de estudio: la Patagonia extraandina septentrional está incluida en la categoría BSk de Köppen (según Kottek et al. 2006), por lo que se caracteriza por un clima seco (de estepa) semiárido frío. En la Patagonia central las lluvias son inferiores a 200 mm y se concentran en invierno. Las temperaturas máximas medias en invierno varían entre 8° y 12°C y en verano entre 24° y 30°C. Las temperaturas mínimas medias son, en invierno, entre 0 y -2°C y, en verano, entre 8 y 14°C (Servicio Meteorológico Nacional, 1960). Los vientos predominantes son del sector oeste (Paruelo et al., 1998). Las bajas precipitaciones y climas secos favorecen la preservación de los edificios volcánicos (Wood, 1980b). Este clima es un factor interviniente en los procesos de degradación de los conos e influye en las tasas de erosión y cálculo de edades relativas (Scott y Trask, 1971; Keresztury y Németh, 2012a).

Materiales y métodos

Las mediciones de los parámetros morfológicos fueron realizadas sobre imágenes Google Earth. Las mismas son Spot Image y Digital Globe con Modelo Digital del Terreno (MDT) de SRTM (Shuttle Radar Topographic Mission) de 3 Arc Seg. Se

complementaron con imágenes Landsat 8 (LDCM Landsat Data Continuity Mission), sensor OLI (Operational Land Imager). Las bandas usadas fueron procesadas con ER Mapper RGB 752 + 8 (Pansharpened) con uso de banda 8 pancromática para aumentar resolución espacial. Se usó también el estiramiento de contraste lineal del 99% de los datos del histograma.

Se consideraron los principales parámetros según la Fig. 2 tomada de Keresztury y Németh (2012a) y modificada por Haller *et al.* (2013):

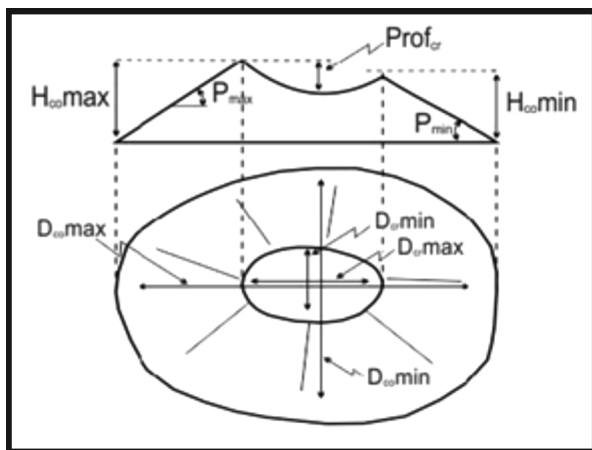


Fig. 2. Parámetros morfológicos principales

Referencias: Altura del cono (Hco), Diámetro del Cono (Dco), Diámetro del cráter (Dcr), Pendiente de las laderas (Pco), Volumen del cono (Vco), Dirección de elongación, Dirección de aporillamiento

Los conos fueron agrupados por su distribución geográfica en: a) los conos de los campos volcánicos de Comallo, Huahuel Niyeu y Pillahuincó Chico; Río Chico que se encuentra en la provincia de Río Negro pero conforman un campo volcánico bien definido y b) los conos del sur de la provincia del Chubut. Los conos sin nombre fueron identificados con letras y números.

El volumen de los conos fue calculado utilizando la fórmula de cono y cono truncado. En los conos con cráter conservado y medible, el volumen total se calculó restando al cono truncado el volumen del cráter. En aquellos conos con cráter desdibujado se consideró directamente el volumen de cono.

Luego se calcularon relaciones paramétricas tales como H_{co}/D_{co} , D_{co}/D_{cr} , P_{co} vs H_{co}/D_{co} y H_{co} vs. D_{co}/D_{cr} y se graficaron algunas de ellas por región y en con-

junto. Éstas permiten estimar edades relativas dentro de un mismo campo volcánico, grados de erosión y determinar tipología de volcanes.

El tratamiento estadístico de los datos se realizó con el software Microsoft Excel v. 2007.

Resultados

Los parámetros morfológicos medidos en conos de la Patagonia norte se pueden apreciar en la Tabla 1. En ésta figuran los valores de los promedios entre la máxima y la mínima medida del parámetro. Por ejemplo, el Dco promedio consiste en el promedio entre el Dco máximo y mínimo medidos según la Fig. 2. La distribución de frecuencias de los valores paramétricos está graficada en la Fig. 3. En su mayoría corresponden a conos piroclásticos de escorias y en algunos casos con participación de aglutinados.

Los conos de la región de Río Negro tienen como altura promedio 49.31 m, siendo este valor prácticamente igual a la mediana (50.50 m); la altura máxima corresponde a 103.5 m. El diámetro de cono promedio es de 685.4 siendo también este valor muy cercano al de la mediana que corresponde a 626.12; el máximo es de 1007 m. Con respecto al diámetro del cráter, el valor promedio es de 230.3 m con una mediana de 200 m. El volumen promedio de los conos es de $22.09 \times 10^6 \text{ m}^3$ sin embargo, la mediana en este caso está en $19.18 \times 10^6 \text{ m}^3$. La pendiente promedio de los conos es de 13.73° prácticamente igual al valor de la mediana que es de 14° . En cuanto a los parámetros direccionales, se midieron las direcciones de elongación máxima y mínima y el azimut de aportillamiento en aquellos casos donde fueron determinables. Las direcciones de aportillamiento muestran una dirección preferencial hacia el NO (Fig. 4), y las de máxima elongación se concentran en el cuadrante NE.

En el campo volcánico de Río Chico, donde se pudieron medir ocho conos piroclásticos, la altura promedio de los mismos es de 60 m y la mediana de 49 m, con un valor máximo de 124 m. El diámetro de cono promedio es de 875.95 m con una mediana en 838.25 m, el mayor diámetro medido es de 1192 m, mientras que el diámetro de cráter promedio mide 291.38 m y su mediana es de 226.75 m. La pendiente promedio de los conos es de 8.73° y la mediana de 8.85° . El volumen promedio es de $22.9 \times 10^6 \text{ m}^3$ mientras que la mediana está en $11.4 \times 10^6 \text{ m}^3$. Esta diferencia, que se hace gráficamente evidente en la Fig. 3, se debe a que un cono (RCh7) presenta dimensiones mayores al promedio. De este modo, el valor más representativo es el de la mediana. Los azimutes de aportillamiento están ubicados entre 251° y 323° , esto es predominantemente hacia el ONO (Fig. 4). Las direcciones de elongación máxima presentan una orientación preferencial hacia el SSE.

Los conos ubicados en la provincia del Chubut, excluidos los del Campo Volcánico del Basalto Cráter (norte de la provincia del Chubut), tienen una altura promedio de 78.7 m con una mediana en 70 m. La altura máxima es de 159 m. Los diámetros promedio del cono y cráter son 1090 m y 430 m respectivamente. Las medianas se ubican en 1021.89 m (Co) y 422 m (Cr). El diámetro máximo medido es de 2199 m en la meseta de Canquel (SR2) que corresponde al cono de mayor altura (159 m). El volumen de este cono es de $569.5 \times 10^6 \text{ m}^3$ mientras que el promedio es de $91.5 \times 10^6 \text{ m}^3$ y la mediana es de $27.64 \times 10^6 \text{ m}^3$. La pendiente promedio de las laderas de los conos es de 13.9° , prácticamente coincidente con la mediana de 13.5° . Los azimutes de aportillamiento, en los casos en que pudieron medirse, se orientan preferencialmente al O con una mediana en 270° (Fig. 4). No se pudieron establecer medidas preferenciales de elongación máxima ya que en la mayoría de los casos los conos son subcirculares.

Teniendo en cuenta toda el área estudiada, denominada como Patagonia norte, la altura promedio de los conos es 64.5 m con una mediana en 51 m, mientras que la moda se ubica entre los 20 y 40 m (Fig. 5). La mayor altura corresponde al cono SR2 de la meseta de Canquel de 159 m. Este mismo cono es el que tiene el mayor diámetro (2199 m) y por ende mayor volumen de todos ($569 \times 10^6 \text{ m}^3$).

El diámetro de cono promedio tiene un valor de 967 m y una mediana de 876.5 m mientras que, para el cráter, los valores son 333.5 y 307.75 respectivamente. En la Fig. 5 se puede apreciar que la moda para los diámetros de cono está en el rango 1000-1200 m y para el cráter en 100-200 m. La pendiente de cono promedio es de 12.32° y la mediana es de 11.85° . Los mayores valores alcanzan los 20° . El volumen promedio es de $51.10 \times 10^6 \text{ m}^3$ y la mediana $16.27 \times 10^6 \text{ m}^3$. La discrepancia radica en las dimensiones anómalamente altas del cono SR2 como se mencionara anteriormente. Los valores modales están entre 0 y $50 \times 10^6 \text{ m}^3$. Teniendo en cuenta la totalidad de las direcciones de aportillamiento se ve claramente una tendencia predominante hacia el oeste-noroeste y una dirección subordinada NE-SO (Fig.4) con un promedio ubicado en 266° .

Relaciones entre parámetros: Se han calculado algunas relaciones paramétricas cuyos resultados se observan en las Tablas 1 y 2 y se han graficado en la Fig. 6.

Se calculó una relación promedio de $Hco/Dco = 0.075$ y $Dco/Dcr = 0.37$. En la Figs. 6a y 6c se han graficado los valores de Hco vs. Dco para todos los conos de escoria considerados. En ambos se incluye también la relación $Hco = 0.2Dco$ para conos sin erosionar de Settle (1979) para comparación. En la Fig. 6c se discriminan los puntos según la región. Esta relación presenta una correlación positiva ($R^2 = 0.43$) al igual que Dcr/Dco con un $R^2 = 0.80$. Otras relaciones graficadas como Pco vs Hco/Dco o Hco vs. Dco/Dcr muestran mucha dispersión y coeficientes de correlación muy bajos.

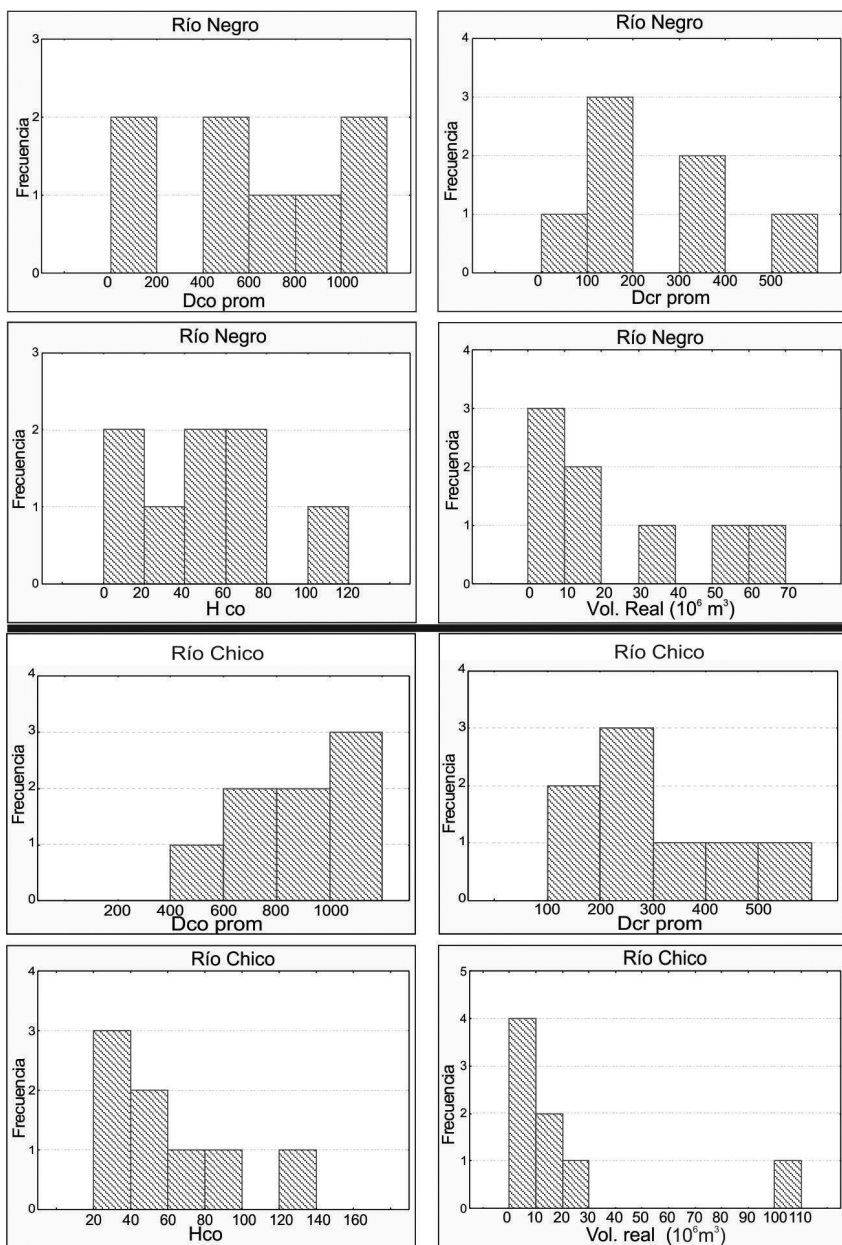


Fig. 3. Distribución de frecuencias de los valores paramétricos.

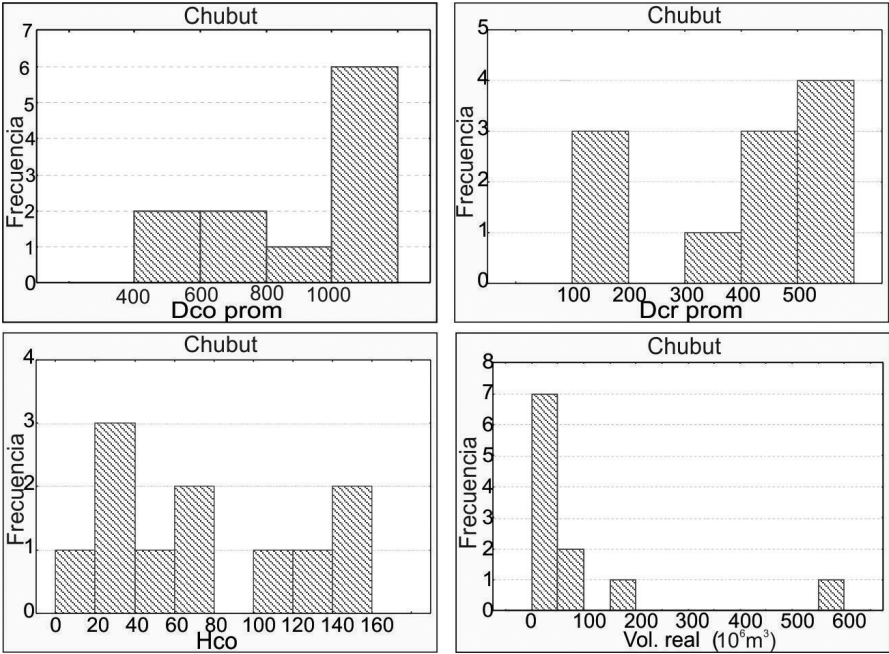


Fig. 3: continuación

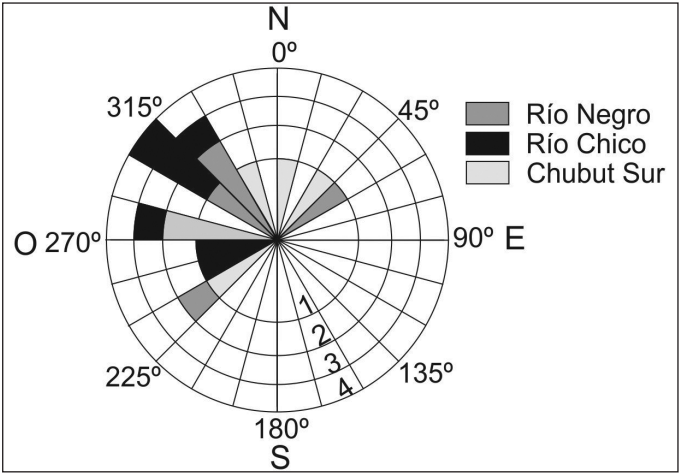


Fig. 4. Direcciones de aportillamiento de los conos.

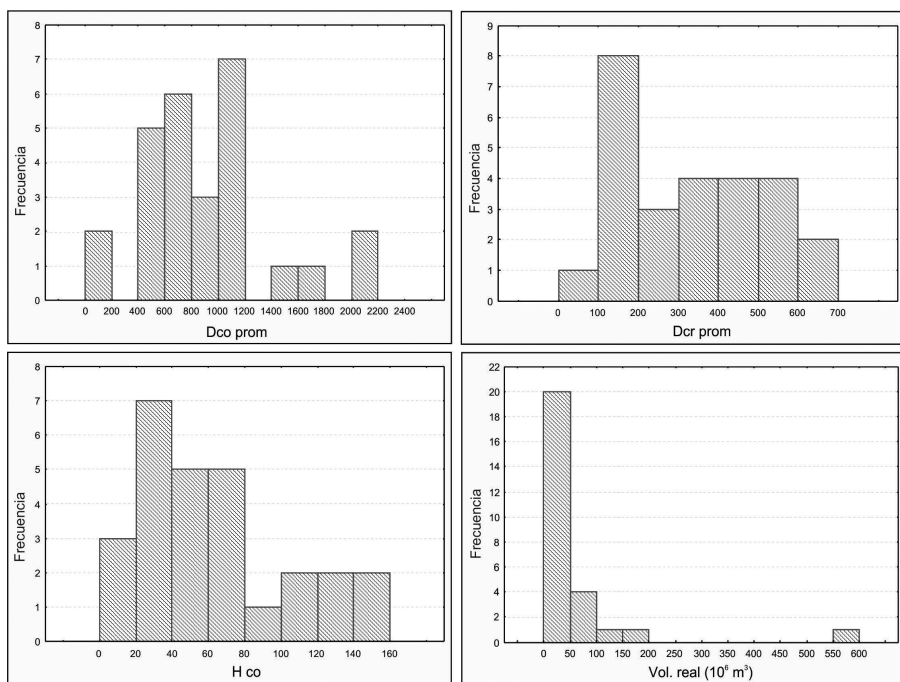


Fig. 5. Frecuencias de los principales parámetros morfológicos de todos los campos considerados.

Discusión

Como se puede apreciar en la Tabla 2, todos los parámetros morfológicos promedio en la Patagonia norte son congruentes con los mencionados en la literatura para conos de escoria. Keresztury y Németh (2012b) plantean que los conos de escoria o ceniza tienen un diámetro típico que varía entre 300 y 2500 m y una altura que no supera los 200 m. Para otros autores, el diámetro promedio no supera los 1000m (Tabla 2). Cuando se analiza individualmente cada cono, hay dos que tienen dimensiones algo mayores que las del promedio. Estos son el cerro Chenque y el SR2. Con respecto a este último, dadas sus dimensiones y morfología es probable que no corresponda a un cono de escoria. Por otra parte, se encuentra muy degradado y los parámetros medidos presentan cierto nivel de incertidumbre. Hasta el momento no se ha podido efectuar un reconocimiento de campo debido a la inaccesibilidad del mismo.

Comparando las tres regiones definidas surge del análisis de los gráficos que los conos de mayores dimensiones tienden a ser los del sur de la provincia del Chubut.

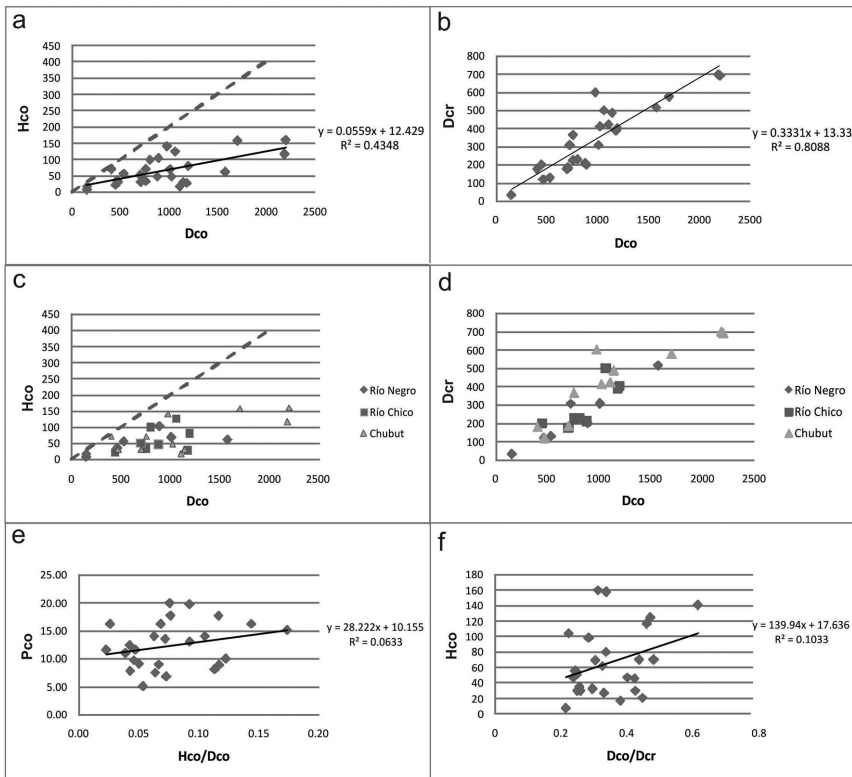


Fig. 6. Relaciones entre parámetros. a, b, e y f consideran todos los campos volcánicos. c y d discriminados por región.

Como se mencionara en la introducción, las relaciones Hco/Dco disminuyen con la edad de los conos y por lo tanto se pueden utilizar para calcular edades relativas dentro de un mismo campo volcánico. Para Kersztury y Németh (2012a) la precisión de la datación relativa decrece con el incremento de edad. Según Settle (1979) el valor de Hco/Dco para conos recientes es de 0.2. Esta curva se ha graficado como referencia en las Figs. 6a y 6c y como es lógico de esperar, todos los puntos se encuentran por debajo de esta curva evidenciando mayor o menor grado de erosión.

El valor de esta relación es más pequeño (0.068) para los conos de Río Chico que para el de las otras dos regiones consideradas, por lo que se estima que los centros eruptivos de este campo volcánico son relativamente más viejos. Río Negro y Chubut sur tienen valores similares, 0.079 y 0.077 respectivamente y, por ende, se les puede asignar

edades relativas similares. La pendiente del cono es otro valor que disminuye con los procesos de degradación y por lo tanto tiene relación directa con la edad de los conos. Haller et al. (2013) calcularon para los conos del Campo Volcánico del Basalto Cráter una disminución de la pendiente de 9° por Ma. Dado que las características climáticas son muy similares para toda la Patagonia extraandina septentrional se puede aplicar esta tasa de erosión en los conos en estudio. Partiendo de valores iniciales de pendiente de cono de $34/35^\circ$ (Wood, 1980a) se obtienen así las edades que figuran en la Tabla 1 (Anexo I).

La edad menor sería de 1.7 Ma para dos conos en Chubut (AP1) y Río Negro (Namor 4). El de mayor edad sería el cono RCh6 con 3.3 Ma. La edad del cono AP1 y Namor 4 coincidiría con la que se les asigna en las Hojas Geológicas de José de San Martín (Ardolino et al., 2013) e Ingeniero Jacobacci (González et al., 2003) respectivamente.

Para los conos de los cuales se cuenta con una datación absoluta (Tabla 1) el valor calculado es similar en algunos casos (SR7, Volcán Miche) y es diferente en otros (NL4 y AP2, cerro Chenque). Un histograma de frecuencia de edades calculadas (Fig. 7) muestra una moda en el período entre 2.8 y 3 Ma (Plioceno) con un promedio en 2.5 Ma. Si se calcula el promedio de edad por regiones, para Río Negro da 2.4 Ma, para Río Chico 2.9 Ma y para Chubut sur 2.3 Ma, lo cual es coherente con las edades relativas estimadas más arriba.

La relación Dcr/Dco , si bien se encuentra dentro de los parámetros esperables, no se utiliza para estimar edades relativas ya que es independiente del estado de degradación del cono (Wood, 1980a) y eso se hace notorio en la Tabla 2 que muestra la disparidad de estos valores aún en campos con edades similares. Según Riedel et al. (2003) esta relación depende del tipo de material que constituye el cono, varía si se trata de un cono de escorias, de un cono de salpicadura o de un maar.

En todos los campos estudiados las direcciones de aportillamiento se orientan preferencialmente hacia el oeste y noroeste (Fig. 4). Haller et al. (2013) consideran que la dirección del viento prevalente está relacionada con la dirección de aportillamiento de los cráteres.

Estos autores explican que durante una erupción hawaiana o estromboliana los piroclastos se acumulan a favor de los vientos predominantes dejando la pared a barlovento más delgada y, por lo tanto, más fácilmente erosionable. Sin embargo, no se descarta la posibilidad de un control tectónico del aportillamiento como ha sido propuesto, entre otros, por Tibaldi (1995) y Langmay et al. (2000). Por su parte, Corazzato y Tibaldi (2006) estiman que los aportillamientos se producen paralelos a la dirección del dique alimentador

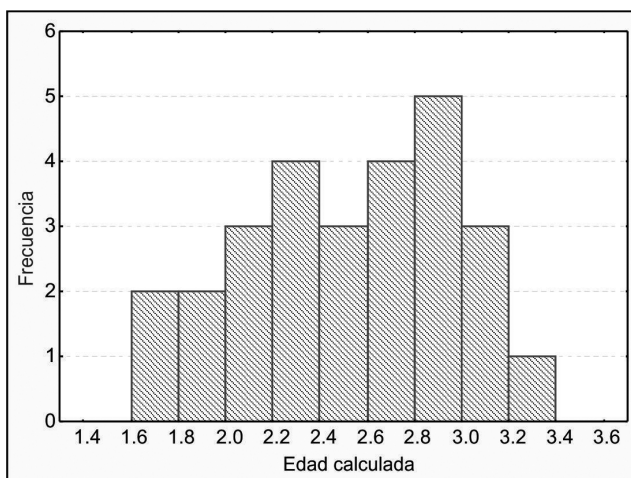


Fig. 7. Histograma de frecuencias de edades calculadas.

Conclusiones

Se han medido los parámetros morfológicos de los conos piroclásticos de tres regiones de la Patagonia extraandina septentrional: Río Negro, río Chico y Chubut sur. Estos parámetros son compatibles con los de un cono piroclástico típico parcialmente degradado. En función de estas mediciones se estableció que los conos de la región de Chubut sur tienden a tener mayores dimensiones.

Las direcciones de aportillamiento de los conos están orientadas al oeste y oeste-noroeste, con un azimut promedio de 266° y una mediana de 293° .

Se estableció una pendiente promedio coincidente con la mediana de 12° .

Se determinaron las siguientes relaciones $Hco/Dco=0.07$ y $Dco/Dcr=0.37$.

Con la relación Hco/Dco se estimaron edades geomorfológicas relativas en los diferentes campos volcánicos, siendo los más antiguos los conos del campo volcánico de río Chico, incluyendo los del Campo Volcánico del Basalto Cráter.

Utilizando una tasa de disminución de pendiente de 9° por Ma se calcularon edades absolutas. Se obtuvo un promedio de edad de 2.5 Ma (Plioceno). El rango de mayor acumulación de edades está entre 2.8 y 3 Ma. El cono más antiguo sería el RCh6 de 3.3 Ma y los más jóvenes el AP2 (Chubut) y el Namor 4 (Río Negro).

Tabla 2: Comparación de los principales parámetros medidos con otras regiones del mundo

Región	Hco (m)	Deco (m)	Der (m)	Pco (°)	Vco (10 ⁶ m ³)	Hco/Deco	Dcr/Deco	edad literatura	Tasa de disminución de la Pco	referencia
Río Negro (n=8)	49	685	230	13.73	37.5	0.079	0.28	ver Tabla 1		Massaferro <i>et al.</i> 2015
Río Chico (n=8)	60	876	291	8.73	22.9	0.068	0.33			Este trabajo
Chubut Sur (n=12)	78.7	1090	430	13.89	92.67	0.077	0.4	ver Tabla 1		Massaferro <i>et al.</i> 2015
todo Patagonia Norte	64.5	941	334	12.35	51.1	0.075	0.37			Este trabajo
CVBC (Chubut) (n=26)	29	408.9	159.	7.38	4.3	0.08	0.39	1-0.3 Ma	9°/Ma	Haller <i>et al.</i> 2013
San Francis-co (Arizona)		900				0.18	0.4	reciente		Wood 1980a
San Francis-co (Arizona)						0.038		0.8-3 Ma	8°/Ma	Wood 1980a
San Francis-co (Arizona)						0.125		0.2-0.7 Ma		Wood 1980a
Hawai	30-100	200-600		26.5		0.18	0.4	reciente		Porter 1972
Payun Matru				30-34		0.26		menos de 1000 a		Inbar y Risso 2001
Payun Matru						0.18		miles de años		Inbar y Risso 2001
Payun Matru				18		0.1		Plioceno		Inbar y Risso 2001
Desierto del Mojave	50-155	400-915		29-22		0.17	0.42	0.015-1.09 Ma	6°/Ma	Dohrenwed <i>et al.</i> 1986
Arizona				26		0.17		Holoc.-Plioc tardio		Hooper y Sheridan 1978
Arizona				8.7		0.077		Plioceno		Hooper y Sheridan 1978
Guatemala-El Salvador	110	660	180	24		0.16	0.27	0.05-1 Ma		Bemis <i>et al.</i> 2011

Agradecimientos

A la Secretaria de Ciencia y Técnica de la Universidad Nacional de la Patagonia “San Juan Bosco” que ha financiado el proyecto de investigación “Estudio comparativo de estructuras de conductos y cráteres, historia erosiva y evolución del paisaje en campos volcánicos monogenéticos intracontinentales de Patagonia”

Referencias

- Anselmi, G., Panza J. L., Cortés, J. M., Ragona, D. (2004). Hoja Geológica 4569-II El Sombrero, provincia del Chubut. Servicio Geológico Minero Argentino (SEGEMAR). *Boletín* 271, 70pp. Buenos Aires.
- Ardolino, A., Busteros, A., Franchi, M., Lema, H., Silva Nieto, D. (2013). Hoja Geológica 4569-I, José de San Martín, Provincia del Chubut. Servicio Geológico Minero Argentino (SEGEMAR), en edición. Buenos Aires.
- Bruni, S. (2004). Le rocce ignee della Valle del Río Genoa-Senguer e dellacatena del Cerro San Bernardo, Chubut, Argentina. Thesis, University of Pisa, 154 pp. Italy.
- Corazzato, C. y Tibaldi, A. (2006). Fracture control on type, morphology and distribution of parasitic volcanic cones: An example from Mt. Etna, Italy. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 158, 177–194.
- Colton, H. S. (1967). The basaltic cinder cones and lava flows of the San Francisco volcanic field. Revised edition from 1936. *Bull. Museum of Northern Arizona*, Flagstaff, AZ, 58 pp.
- Cucchi, R., Busteros, A., Lema, H. (2001). Hoja Geológica 4169 II, Los Menucos, Provincia de Río Negro. Servicio Geológico Minero Argentino (SEGEMAR). *Boletín* n° 265, 67 pp. Buenos Aires.
- Dohrenwend, J. C.; Wells, S. G.; Turrin, B. D. (1986). Degradation of Quaternary cinder cones in the Cima volcanic field, Mojave Desert, California. *Bulletin of the Geological Society of America* 97, 421-427.
- Dóniz, J., Romero, C., Coello, E., Guillén, C., Sánchez, N., García-Cacho, L. y García, A. (2008). Morphological and statistical characterisation of recent mafic volcanism on Tenerife (Canary Islands, Spain). *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 173, 185-195.
- Favalli, M.; Innocenti, F.; Pareschi, M. T.; Pasquare, G.; Mazzarini, F.; Branca, S.; Cavarra, L. y Tibaldi, A. (2005). The DEM of Mt. Etna: geomorphological and structural implications. *Geodinamica Acta* 12, 279-290.
- González, P., Coluccia, A. y Franchi, M. (2003). Hoja 4169-III Ingeniero Jacobacci, Carta Geológica de la República Argentina, escala 1:250.000. Servicio Geológico Minero Argentino (SEGEMAR), inédita.
- Haller, M. J., Pécskay, Z., Németh, K., Gméling, K., Massafiero, G. I., Meister, C. M. y Nullo, F. E. (2009). Preliminary K-Ar geochronology of Neogene back arc

- volcanism in Northern Patagonia, Argentina. 3rd International Maar Conference, Abstracts, 40-41.
- Haller, M., Meister, C., Inbar, M. y Risso, C. (2013). Morfometría del campo volcánico del Basalto Cráter, Chubut. *Contribuciones Científicas GAEA* 25, 125-136.
- Hooper, D. y Sheridan, M. (1998). Computer-simulations models of scoria cone degradation. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 83, 241-267.
- Inbar, M. y Risso, C. (2001). A morphological and morphometric analysis of high density cinder cone volcanic field –PayunMatru, south-central Andes –Argentina. *Zeitschrift für Geomorphologie* 45, 321-344.
- Inbar M., Gilichinsky, M., Melekestsev, I., Melnikov, D. y Zaretskaya, N. (2011). Morphometric and morphological development of Holocene cinder cones: A field and remote sensing study in the Tolbachik volcanic field, Kamchatka. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 201, 301–311.
- Karátson, D. (1996). Rates and factors of stratovolcano degradation in a continental climate: a complex morphometric analysis for nineteen Neogen/Quaternary crater remnants in the Carpathians. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 73, 65-78.
- Kereszturi, G. y Németh, K. (2012a). Structural and morphometric irregularities of eroded Pliocene scoria cones at the Bakony–Balaton Highland Volcanic Field, Hungary. *Geomorphology* 136, 45-58.
- Kereszturi, G. y Németh, K. (2012 b). Monogenetic Basaltic Volcanoes: Genetic Classification, Growth, Geomorphology and Degradation, En Karoly Németh (Ed): Updates in Volcanology - New Advances in Understanding Volcanic Systems. InTech. DOI: 10.5772/51387.
- Kottek, M., Grieser, J., Beck, C., Rudolf, B. y Rubel F. (2006). World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorologische Zeitschrift*. 15, 259-263. DOI: 10.1127/0941-2948/2006/0130
- Lagmay, A. M. F., van Wyk de Vries, B., Kerle, N. y Pyle, D. M. (2000). Volcano instability induced by strike-slip faulting. *Bulletin of Volcanology* 62, 331–346.
- Massaferro G., Prez, H., Simeoni, A., Rodríguez, S., Lamas, N., Porma, A. y Haller, M. J. (2015). Caracterización morfométrica de conos volcánicos de Patagonia meridional. VI Congreso Argentino de Cuaternario y Geomorfología. Libro de resúmenes, 315-316.
- Paruelo, J., Beltrán, A., Jobbágy, E., Sala, O. y Golluscio, R. (1998). The climate of Patagonia: General patterns and controls on biotic processes. *Ecología Austral* 8, 85-101.
- Porter, S. C. (1972). Distribution, morphology, and size frequency of Cinder cones on Mauna Kea volcano, Hawaii. *Bulletin of the Geological Society of America* 83, 3607-3612.
- Ravazzoli, I. y Sesana, F. (1977). Descripción Geológica de la Hoja 41c Río Chico, provincia de Río Negro. Servicio Geológico Nacional. *Boletín* n° 148, 77 pp.
- Riedel, C., Ernst, G. y Riley, M. (2003). Controls on the growth and geometry of pyroclastic constructs. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 127,

121-152.

Scott, D. H. y Trask, N. J. (1971). Geology of the Lunar Crater volcanic field, Nye County, NV. *U.S. Geol. Surv., Prof. Paper*, 599-I, 22 pp.

Segerstrom, K. (1950). Erosion studies at Parícutín, State of Michoacán, Mexico. *U.S. Geol. Surv. Bull.* 965-A, 164 pp.

Segerstrom, K. (1960). Erosion and related phenomena at Parícutín 1957. *U. S. Geol. Surv. Bull.* 1104-A, pp. 1-18.

Servicio Meteorológico Nacional. (1960). *Atlas climático de la República Argentina*.

Segerstrom, K. (1966). Parícutín 1965-Aftermath of eruption. *U.S. Geol. Surv., Prof. Paper* 550-C, 93-101.

Settle, M. (1979). The structure and emplacement of cinder cone fields. *American Journal of Science* 279, 1088-1107.

Tibaldi, A. (1995). Morphology of pyroclastic cones and tectonics. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth* Volume 100, Issue B12, 24521-24535.

Wood, C. (1980a). Morphometric analysis of cinder cone degradation. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 8, 137-160.

Wood, C. (1980b). Morphometric evolution of cinder cones. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 7, 387-41.

Anexo 1
 Tabla 1. Ubicación geográfica de los volcanes y resultado de los principales parámetros morfológicos medidos.

Volcán	Lat (°)	Long (°)	Región/Localidad	Dco prom (m)	Dcr prom (m)	Der prom (m)
Namor 4	-41.376	-70.058	Río Negro, Huahuel Níeyeu	461.7	119.4	119.4
Namor 2	-41.38514	-70.057172	Río Negro, Huahuel Níeyeu	149	32.24	32.24
Namor 3	-41.38486	-70.058129	Río Negro, Huahuel Níeyeu	150.3		
Namor 1	-41.40515	-70.07184	Río Negro, Huahuel Níeyeu	528.7	129.7	129.7
Pillahuinco						
Chico	-40.41298	-68.707774	Río Negro, La Esperanza	1575	515.5	515.5
Cerro Horqueta	-41.03698	-69.979409	Río Negro, Comallo	723.5	307.5	307.5
Cono 1	-41.06447	-70.056195	Río Negro, Comallo	1007	308	308
Cono 2	-41.06755	-70.07782	Río Negro, Comallo	888	200	200
RCh 1	-41.67826	-70.455898	Río Chico	757.7	225	225
RCh 2	-41.63124	-70.40044	Río Chico	1192	403	403
RCh 3	-41.5236	-70.374293	Río Chico	445	199.5	199.5
RCh 4	-41.51714	-70.489598	Río Chico	1178	390.5	390.5
RCh 5	-41.5094	-70.465118	Río Chico	800	228.5	228.5
RCh 6	-41.49223	-70.534603	Río Chico	876.5	210	210
RCh 7	-41.40762	-70.626708	Río Chico	1060	500.1	500.1
RCh 8	-41.50427	-70.5925	Río Chico	698.2	174.5	174.5
SR 1	-44.58678	-68.322421	Chubut sur, M. Canquel	1022	411.6	411.6
SR2	-44.59726	-68.508908	Chubut sur, M. Canquel	2199	690.9	690.9
SR4	-44.96875	-68.427555	Pampa Negra, Chubut sur	974	600	600
SR5	-44.32802	-44.328024	Chubut sur, M. Canquel	756.5	364.6	364.6
SR6	-44.3015	-68.596206	Chubut sur, M. Canquel	1141	486.5	486.5
SR7	-45.126	-68.890769	Chubut sur, Pampa. de los Guanacos.	403	176.6	176.6
AP1	-44.9727	-69.8669	Chubut sur, A° Genoa	1700	576	576
AP2, Co.						
Chenque	-44.8686	-70.0692	Chubut sur, A° Genoa, C° Chenque	1516	699	699
NL4	-43.82152	-69.935617	Chubut sur, Pampa. de Agnia	469.5	118	118
NL5, Vn. Míche	-43.66725	-69.862504	Chubut sur, Pampa. de Agnia	705	184	184
NL6 C° Bayo						
Epul	-43.92051	-69.854192	Chubut sur, Pampa. de Agnia	1107	422.5	422.5
Promedio total				941.6	333.57	333.57
Mediana				838.3	307.8	307.8

Tabla 1. Continuación

Volcán	H co (m)	Az. Elong. (°)	Az. Aport. (°)	Pco prom (°)	Dcr/Dco	Hco/Dco	Vco (10 ⁶ m ³)	Edad calcu- lada (Ma)	Edad literatura
Namor 4	35	30		20	0.259	0.076	4.82	1.7	Pleistoceno ¹
Namor 2	7.5	33		9	0.216	0.050	0.12	2.9	Pleistoceno ¹
Namor 3	17	36		8		0.113	0.25	3.0	Pleistoceno ¹
Namor 1	55.5	109	312	14	0.245	0.105	11.14	2.3	Pleistoceno ¹
Pillahuincó Chico	61.5		238	11	0.327	0.039	30.74	2.7	Plioceno ²
Cerro Horqueta	45.5		47.98	14	0.425	0.063	16.27	2.3	Plioceno ¹
Cono 1	69	211	322	16.2	0.306	0.069	50.09	2.1	Plioceno ¹
Cono 2	103.5		316	17.7	0.225	0.117	63.36	1.9	Plioceno ¹
RCh 1	32.5	171	319	7.7	0.297	0.043	13.48	3.0	Holoceno ³
RCh 2	79.5	158	257	8.9	0.338	0.067	27.18	2.9	Holoceno ³
RCh 3	21	111	323	11.5	0.448	0.047	1.09	2.6	Holoceno ³
RCh 4	27	197	251	11.5	0.331	0.023	7.57	2.6	Holoceno ³
RCh 5	98	156	307	9.9	0.286	0.123	16.41	2.8	Holoceno ³
RCh 6	47	214		4.9	0.240	0.054	9.44	3.3	Holoceno ³
RCh 7	124	204	282	8.8	0.472	0.117	101.94	2.9	Holoceno ³
RCh 8	51	91	304	6.7	0.250	0.073	6.50	3.1	Holoceno ³
SR 1	47		270	9.64	0.403	0.046	34.80	2.8	Mioceno ⁴
SR2	159			13.5	0.314	0.072	569.51	2.4	Mioceno ⁴
SR4	140		282	16.2	0.616	0.144	74.58	2.1	Plioc. Sup ⁴
SR5	70	331	331	13	0.482	0.093	27.65	2.4	Mioceno ⁴
SR6	30	238	238	16.2	0.427	0.026	16.34	2.1	Mioceno ⁴
SR7	70			15.1	0.438	0.174	8.93	2.2	2.69-2.89 ⁴
AP1	157		360	19.8	0.339	0.092	78.79	1.7	Pleistoceno ⁶
AP2, Co. Chenque	116	110		17.7	0.461	0.077	179.93	1.9	2.49-2.26 Ma ⁶
NL4	30			7.4	0.251	0.064	5.19	3.1	2.49 Ma ⁵
NL5, Vn. Miche	30			12.4	0.261	0.043	11.71	2.5	2.49 Ma ⁵
NL6 Co. Bayo Epul	17		33.43	11.9	0.382	0.015	12.04	2.6	
Promedio total	64.46		266	12.32	0.375	0.075	51.11	2.5	
Mediana	51		293	11.9	0.329	0.069	16.27	2.6	

1. González *et al.* (2003). 2. Cucchi *et al.* (2001). 3. Ravazzoli y Sesana (1977). 4. Anselmi *et al.* (2004). 5. Haller *et al.* (2009). 6. Ardolino *et al.* (2013). 7. Bruni (2004).