



¿Cómo influyen las propiedades del sistema magmático en la morfología de un edificio volcánico? Análisis de los volcanes Lascar, Lonquimay y Llaima, Andes Centrales y Andes del Sur de Chile.

María Angélica Contreras*, Ángelo Castruccio

*Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile, Plaza Ercilla 803, Santiago, Chile.
Centro de Excelencia en Geotermia de los Andes.*

* Email: mariange.contreras@gmail.com

Resumen. El arco volcánico chileno así como otras zonas volcánicas en el mundo, presentan una amplia diversidad en cuanto a morfologías volcánicas se trata, pudiendo incluso en estratovolcanes identificarse diferentes formas. En base a este último criterio se han definido para este estudio dos clases de estratovolcanes: el primero grupo corresponde a estratoconos de pendientes pronunciadas y rectas, volumen, altura y área basal moderada. El segundo grupo consiste en volcanes de pendientes suaves y cóncavas, voluminosos, con grandes valores de altura y área basal. Al primer grupo pertenecen los volcanes Lascar y Lonquimay mientras que en el segundo clasifica el volcán Llaima. Si bien la morfología está controlada por un sinnúmero de factores, un interesante tópico a considerar es la influencia que tiene las características del reservorio profundo en el cono edificado en superficie. Con el fin de estudiar la relación entre las diferentes morfologías volcánicas y su conexión con las características del sistema magmático, tales como tamaño y profundidad de la cámara magmática, así como la reología de los flujos de lava, se ha llevado a cabo un estudio integrado tanto morfológico como petrográfico con la intención de desarrollar un modelo matemático simple del crecimiento de un volcán, de los tres volcanes mencionados anteriormente.

1 Introducción

La construcción de un edificio volcánico es el resultado de una sumatoria de procesos que comienzan con la extrusión, ya sea de manera explosiva y/o efusiva, de material proveniente de reservorios a distinta profundidad y evoluciona en el tiempo dependiendo de diversos factores tales como edad, etapa de crecimiento en la que se encuentre, composición, posición del centro de emisión y/o migración del mismo, grado de erosión, proporción de lava/tefra y régimen tectónico (Grosse et al., 2009). Entendiendo que un edificio volcánico es la sumatoria de los productos emitidos y que las características de estos productos dependen en gran parte de las características del sistema magmático, el estudio morfológico de un edificio volcánico puede ser una fuente importante para estudiar las propiedades del sistema magmático en profundidad. Precisamente el enfoque de este trabajo es establecer a través de un análisis morfológico del edificio y estudio

petrográfico de los productos emitidos y la elaboración de modelos matemáticos, si existe una relación entre las características de una cámara magmática tales como profundidad y volumen, así como reología de los flujos de lava, con los rasgos morfológicos observados en superficie para volcanes con formas diferentes.

Para estudiar las posibles relaciones entre morfología y sistema magmático, se escogieron los siguientes 3 volcanes dada la diferencia en forma y naturaleza de los productos emitidos: volcán Lascar en la zona volcánica Central y los volcanes Lonquimay y Llaima en la zona volcánica Sur.

2 Metodología

Se realizaron 3 campañas de terrenos, una a cada volcán, para caracterización morfológica y recolección de muestras para análisis composicional de vidrio y mineral de coladas de lava asociadas a las diversas unidades en que se han dividido los estratovolcanes. El objetivo de establecer las condiciones de presión y temperatura de almacenamiento de magma y determinar reología de los flujos de lava. Además se llevó a cabo una caracterización morfológica a través de fotos aéreas y Modelos de Elevación digital.

3 Resultados

3.1 Morfología de los volcanes Lascar, Lonquimay y Llaima.

Los volcanes objeto de este estudio muestran considerables diferencias en cuanto a la morfología tanto del edificio principal como de las unidades de flujos de lava. A través de la construcción de modelos de elevación digital se determinó un volumen de 155 km³ para el volcán Llaima, el cual supera considerablemente los calculados para los estratoconos Lascar y Lonquimay que no sobrepasan los 10 y 25 km³ respectivamente. Además, la altura promedio desde la base de los volcanes Lascar y Lonquimay es 1051 y 1184 m respectivamente, mientras que el voluminoso volcán Llaima alcanza casi los 2200 m de altura.

Por otra parte existe una notable diferencia en los perfiles asociados a cada volcán mostrados en la Figura 1, en donde en el caso del volcán Llaima, se puede reconocer un perfil cóncavo especialmente en la parte superior así como una mayor extensión radial de sus depósitos, mientras que los volcanes Lascar y Lonquimay se asemejan más dada su pendiente más bien recta y distribución de sus depósitos mucho más limitada. En efecto, las pendientes promedio para estos volcanes son de 19° y 22° respectivamente, mientras que para el volcán Llaima esta alcanza un valor de tan solo 14°, observándose un fuerte contraste en la zona cercana al cráter (de alta pendiente) y la partes bajas (de muy baja pendiente).

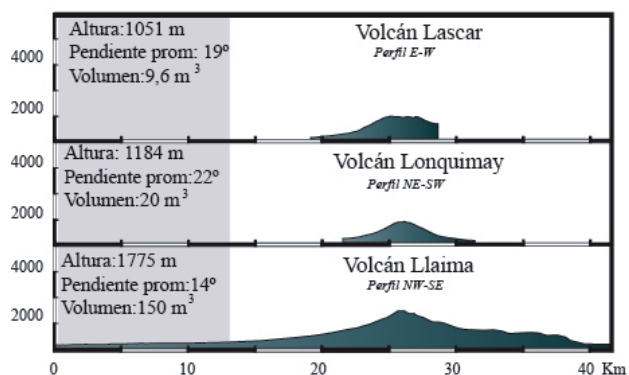


Figura 1. Perfiles topográficos de los volcanes Lascar, Lonquimay y Llaima y algunas de sus características morfológicas principales. Los perfiles fueron hechos paralelos a la dirección de máxima elongación del volcán.

Respecto a los flujos de lava que componen estos volcanes, como muestra la figura 2 tanto en el volcán Lascar como el volcán Lonquimay se observa una disminución de la extensión de los flujos de lava conforme son más recientes. Las coladas más antiguas del volcán Lascar poseen una extensión máxima de 14 km, mientras que la unidad posteriores tienen un largo promedio de 3 km siendo solo la excepción a la regla el flujo correspondiente a la última unidad que sin embargo no supera los 8 km.

Por su parte en el volcán Lonquimay esta tendencia es aún más evidente disminuyendo desde 12 km a 5 km conforme son unidades más jóvenes. Distinto es el caso del volcán Llaima en donde los flujos más extensos alcanzan hasta 16 km de longitud y a través del tiempo las coladas han mantenido constante su extensión en un amplio rango, superando en varios kilómetros las longitudes de los flujos asociados a los volcanes Lascar y Lonquimay.

Finalmente cabe mencionar la presencia de centros de emisión adventicios en los volcanes Lonquimay y Llaima, mientras que en el volcán Lascar solo se reconoce una migración del centro de emisión a lo largo de su historia sin presentar conos menores asociados.

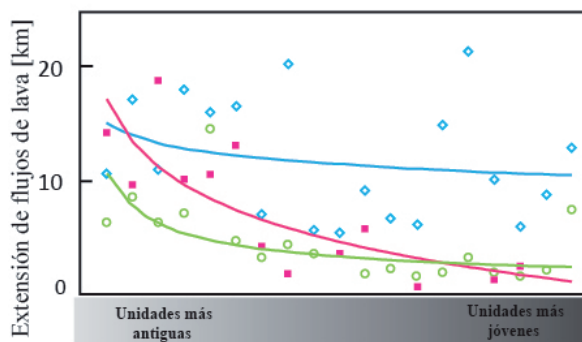


Figura 2. Largo de diferentes unidades de flujos de lavas de los volcanes Lascar (círculos verdes), Lonquimay (cuadrados fucsia) y Llaima (prismas azules) a través de tiempo. Los puntos muestras mediciones llevadas a cabo con mapas e imágenes aéreas y las líneas muestras la tendencia de cada grupo

3.2 Petrografía y reología de los volcanes Lascar, Lonquimay y Llaima.

Existen profundas diferencias en cuanto a fases minerales presentes, texturas observadas y contenido cristalino (figura 3) para los tres volcanes estudiados. A continuación se presentan parte de los resultados obtenidos por medio del estudio de muestras de flujos de lava asociados a las distintas unidades en que se ha dividido cada volcán.

El volcán Lascar se conforma de flujos de lava y depósitos piroclásticos de composición andesítica a dacítica (Gardeweg et al., 2011), observándose en las lavas un alto grado de cristalinidad (figura 3) que ronda el 60% para todas sus unidades. La asociación mineral correspondiente a estas rocas es plagioclasa + hornblenda +/- ortopiroxeno +/- clinopiroxeno +/- olivino. Respecto a las fases minerales más abundantes, la plagioclasa presenta en su mayoría textura sieve y zonación, mientras que la hornblenda en algunos casos muestra evidencia de reabsorción y bordes de descomposición y en otros se encuentra muy bien conservada. Adicionalmente, esta última también presenta zonación en algunos cristales del flujo de lava asociado a la última unidad del volcán.

Las lavas del volcán Lonquimay de composición andesita-basáltica a dacita (Polanco 2010), carecen de cristales de tamaños mayores a 0,1 mm, sin embargo se observa una masa fundamental casi completamente cristalina. El porcentaje de cristales mayores a 1 mm no supera el 5% en ninguna de sus unidades, sin embargo abundan los cristales cercanos a 0,1 mm, por tanto, se ha determinado un contenido general cercano al 20-30 % (figura 3). La asociación minerales presente en todas las unidades es plagioclasa + olivino + clinopiroxeno +/- ortopiroxeno. La plagioclasa se presenta solo en algunos casos zonada y con embaimiento, mientras que el olivino presenta en todas las unidades un borde reacción de piroxeno el cual presenta textura simplectítica con óxidos.

Por su parte el volcán Llaima se compone de lavas de

composición basáltica a andesita-basáltica (Naranjo et al., 2005) y mineralogía similar a la del volcán Lonquimay. Posee un alto contenido cristalino cercano al 50% abundando los fenocristales de plagioclasa, olivino y piroxenos (figura 3).

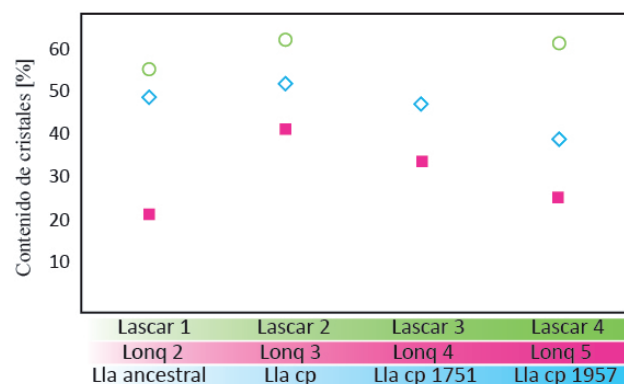


Figura 3. Contenido de cristales para las distintas unidades de los volcanes Lascar (círculos verdes), Lonquimay (cuadrados fucsias) y Llaima (prismas azules). Se llevó a cabo a través de un conteo modal de cristales y considerándose solo cristales mayores a 0,1 mm. Las unidades son más jóvenes hacia la derecha y no existe ninguna relación temporal entre unidades de volcanes diferentes).

Se ha determinado la viscosidad de los flujos de lava asociados a las diversas unidades de los volcanes Lonquimay y Lascar en base al modelo de Castruccio (2012) basado en el contenido de cristales, empaquetamiento máximo y viscosidad del líquido (figura 4). El conteo modal de cristales se realizó con el software *jmicrovision* y la viscosidad del líquido se determinó con el modelo de Giordano et al. (2008) en base a la composición química del vidrio, temperatura y contenido de agua. Para el caso del volcán Lascar, se utilizó una temperatura de 890 -970°C y un contenido de H₂O 0,6-0,85, datos tomados de Matthews et al. (1992). En el caso del volcán Lonquimay la temperatura se obtuvo a partir del geotermómetro basado en el contenido de Mg en vidrio de Putirka (2008) y un contenido de H₂O de 0,79 determinado para la erupción del cono navidad del año 1988-1990 (Naranjo et al., 1992).

Los resultados obtenidos se muestran en la figura 4 en la cual se observa que la viscosidad de las coladas de lava del volcán Lascar bordean los 10⁷ y 10⁹ Pa.s mientras que para el caso del volcán Lonquimay los valores se encuentran en el rango de 10⁶ y 10⁸ Pa.s. En ambos casos se observan diferencias entre las viscosidades de lavas de distintas unidades reconociéndose un leve aumento hacia las unidades más jóvenes así como también una directa dependencia de esta con el contenido de cristales.

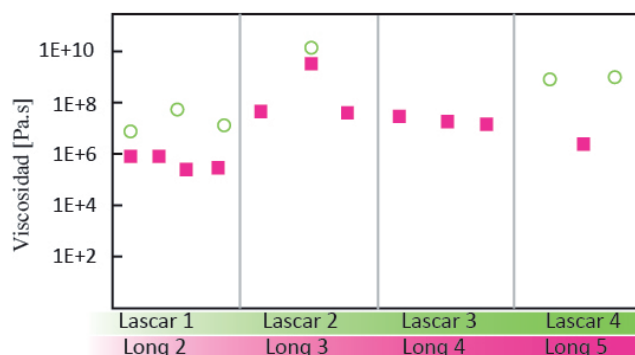


Figura 4. Viscosidad asociada flujos de lava de las distintas unidades de los volcanes Lonquimay (cuadrados fucsias) y Lascar (círculos verdes) basados en los modelos de Castruccio (2012) y Giordano et al. (2008).

3.3 Discusiones y trabajos a seguir

Existen notables diferencias tanto morfológicas como reológicas entre los edificios volcánicos estudiados, así como entre los flujos de lava que componen a cada uno.

Respecto a las condiciones de almacenamiento del magma del volcán Lascar, de acuerdo a condiciones de presión y temperatura determinadas por Matthews et al. (1992), la cámara magmática asociada se encontraría a una profundidad de 9 km aproximadamente, mientras que estudios realizados en el volcán Lonquimay, indican una cámara por sobre los 16 km de profundidad de acuerdo a Polanco (2010) y un amplio rango desde 300 m a 18 km según el trabajo de Gilbert et al. (2012). Finalmente para el volcán Llaima de acuerdo a Schindlbeck et al. (2014) el reservorio se encontraría a más de 15 de profundidad.

Estos antecedentes indican de manera preliminar, que volcanes poco voluminosos (<20 km³) con altura desde su base moderada (<1200 m) área basal moderada (< 100 km²), con perfil topográfico de pendientes fuertes y rectas y flujos de lava muy viscosos cuya extensión disminuye a medida que avanza la construcción del volcán, están asociados a cámaras magmáticas más bien someras, tales son los casos de los volcanes Lascar y Lonquimay.

En la vereda opuesta volcanes voluminosos (>150 km³), con alturas cercanas a los 2000 m desde su base, área basal cercana a los 500 km², de pendientes suaves y cóncavas y en donde los volúmenes emitidos y extensiones de los flujos de lava poco viscosos se han mantenido invariables a lo largo de su historia, estarían asociados probablemente a reservorios profundos en la corteza y fuertemente sobrepresurizados, tal sería el caso del volcán Llaima.

En el transcurso de este trabajo se realizará una estimación de condiciones de almacenamiento del magma con nuevas metodologías así como la elaboración de un modelo de

crecimiento de un volcán basado en la adición de múltiples flujos de lava, con el fin de general un perfil topográfico comparable a los volcanes estudiados y cuantificar el efecto de los parámetros del sistema magmático estudiados.

Agradecimientos

Proyecto FONDECYT 11121298 y Centro de Excelencia de los Andes (CEGA).

Referencias

- Castruccio, A. 2012. Rheology and dynamics of lava flows. Ph.D.Thesis, University of Bristol:150 p.
- Gardeweg, M.C.; Amigo, A.; Matthews, S.J.; Sparks, R.S.J., Clavero, J. 2011. Geología del volcán Láscar, Región de Antofagasta. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile, Serie Geología Básica 131: 40 p., 1 mapa escala 1:50.000. Santiago.
- Gilbert, D.; Freundt, A.; Kutterolf, S.; Burkert, C. 2012. Post-glacial time series of explosive eruptions and associated changes in the magma plumbing systems of Lonquimay volcano, south central Chile. *International Journal of Earth Sciences* 103 (7): 2043-2062.
- Giordano, D.; Russell, J. K.; Dingwell, D. B. 2008. Viscosity of magmatic liquids: A model. *Earth and Planetary Science Letters* 271: 123-134.
- Grosse, P.; Van Wyk de Vries, B.; Petrinovic, I.A.; Euillades, P.A.; Alvarado, G. 2009. Morphometry and evolution of arc volcanoes. *Geology* 37:651-654.
- Matthews, S.J.; Jones, A.P.; Gardeweg, M.C.1994. Láscar volcano, Northern Chile; Evidence for Steady-State Disequilibrium. *Journal of Petrology* 35: 401-432.
- Naranjo, J.A.; Moreno, H. 2005. Geología del volcán Llaima, Región de la Araucanía. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile, Serie Geología Básica, 88: 33 p., 1 mapa escala 1:50.000, Santiago.
- Polanco, E. 2010. Volcanoestratigrafía, geoquímica y peligro volcánico del volcán Lonquimay (38°30'S), Andes del Sur (Chile). Departamento de Geoquímica, Petrología y Prospección Geológica. Tesis doctoral, Universidad de Barcelona: 256 p.
- Schindlbeck, J. C.; Freundt, A. and Kutterolf, S. 2014. Major changes in the post-glacial evolution of magmatic compositions and pre-eruptive conditions of Llaima Volcano, Andean Southern Volcanic Zone, Chile. *Bulletin of Volcanology*, 76(6):1-22.