

# Mecanismos eruptivos del volcán Puig de la Garrinada (Olot, provincia volcánica de La Garrotxa, NE España): estudio metodológico desarrollado en depósitos piroclásticos proximales

*Eruptive mechanisms of the Puig de la Garrinada volcano (Olot, Garrotxa volcanic province, NE Spain): a methodological study developed on proximal pyroclastic deposits*

G. Gisbert<sup>1</sup>, D. Gimeno<sup>1</sup> y J.L. Fernández Turiel<sup>2</sup>

- 1 Departament de Geoquímica, Petrologia i Prospecció Geològica, Universitat de Barcelona. C/ Martí i Franquès s/n, 08028 Barcelona. ggisbertp@hotmail.com, domingo.gimeno@ub.edu  
2 Institut de Ciències de la Terra "Jaume Almera", CSIC. C/ Lluís Solé i Sabarís s/n, 08028Barcelona. jlfernandez@ija.csic.es

**Resumen:** Se ha estudiado un afloramiento efímero en la base de un cono basáltico monogénico en la región volcánica de La Garrotxa para estudiar variaciones en los mecanismos eruptivos en el curso de una erupción. Una vez establecida la vulcanoestratigrafía se realizó un muestreo muy detallado (incluyendo coladas de lava basales, bombas y gran número de capas de ceniza y lapilli). Se desarrolló una ficha de descripción para el estudio con lupa binocular de los materiales piroclásticos finos y su distribución en la serie. Seguidamente se hicieron estudios morfoscópicos con SEM+EDS y caracterización geoquímica básica (mayores y trazas) de las muestras con FRX. Con todo esto se ha reconstruido la historia eruptiva, mostrando una transición desde una actividad inicial estromboliana a una freatomagmática; esto permitió inferir variación en la tasa de flujo magmático, oscilaciones de la columna de magma, e interacciones con el acuífero. Dado el buen acuerdo entre las conclusiones generales y la diferenciación de las fases eruptivas a partir de los datos de la ficha descriptiva, vulcanoestratigrafía macroscópica, y geoquímica, se propone que un protocolo de estudio como este (y el muestreo asociado) puede ser útil en la reconstrucción de la actividad eruptiva de conos piroclásticos similares.

**Palabras clave:** estromboliano, freatomagmatismo, ficha descriptiva, morfoscopia SEM, geoquímica.

**Abstract:** An ephemeral outcrop at a quaternary basaltic volcano has been studied in the Garrotxa volcanic region in order to decipher the eruptive mechanisms variations in the course of a single eruption. Once the vulcanostratigraphy was established a very detailed sampling (involving underlying lava flows, bombs and a large number of fine-sized lapilli and ash beds) was conducted. A description card was developed for study under stereo microscope to identify the different type of materials that form the volcanic cone and their distribution. Subsequent studies under SEM+EDS and basic chemical characterization of the samples (whole rock XRF for major and trace elements) were conducted. All these studies lead to the reconstruction of the eruptive history of the La Garrinada volcano, showing a transition from an initial strombolian activity to a phreatomagmatic one; this allows to infer magma eruption rates, magma column oscillations and aquifer interactions with magma column. Since there is a good agreement between general conclusions and the discrimination of eruptive episodes obtained from stereo microscope description card, macroscopic vulcanostratigraphy and chemical results, it is proposed that a similar study protocol might be useful in the reconstruction of eruptive activity of similar cinder cones in the Garrotxa region and elsewhere.

**Key words:** Strombolian, phreatomagmatism, description card, SEM morphoscopy, geochemistry.

## INTRODUCCIÓN

La provincia volcánica de la Garrotxa, junto con las provincias volcánicas del Empordà y La Selva, forman la provincia volcánica alcalina de intraplaca del NE de España. Este volcanismo ha sido relacionado con el mismo contexto geodinámico que ha creado los principales rifts y provincias volcánicas asociadas de la Europa centro-occidental por los autores que han estudiado la petrología de las rocas volcánicas (Araña *et al.*, 1983; López Ruiz y Rodríguez Badiola, 1985).

En la zona de la Garrotxa la actividad volcánica comenzó hace unos 300.000 años, y ha perdurado hasta la actualidad con episodios eruptivos cada 15.000 a 20.000 años aproximadamente. Esta actividad se ha caracterizado por la formación de pequeños conos monogénicos mediante erupciones de corta duración de carácter principalmente estromboliano, freatomagmático, o alternando mecanismos en el tiempo. Resultado de esta actividad se pueden encontrar en esta región más de 40 conos volcánicos, en algunos de los cuales se conoce la existencia de freatomagmatismo desde hace 20 años (Martí y

Mallarach, 1987) aunque no había sido estudiado en detalle en ningún caso hasta el trabajo de Gisbert (2006).

El volcán de Puig de la Garrinada es un pequeño cono basáltico situado en la población de Olot, (Garrotxa, Girona) (Figura 1). Se encuentra encima de un relleno de valle constituido por materiales volcánicos (principalmente coladas lávicas) y detríticos, y está alineado (por control tectónico) con otros tres volcanes, el Aiguaneegra, Montolivet y Montsacopa, estando separado de este último por unos pocos centenares de metros. El volcán de la Garrinada es un cono simple con 3 cráteres alineados en dirección N-S aproximadamente, situados a diferentes alturas. El cono, de 800 metros de diámetro y 116 de altura es el más grande, y uno de los mejores conservados, del sector de Olot, y forma parte del sector protegido del Parc de la Zona Volcànica de la Garrotxa, regulado por ley del Parlament de Catalunya del 1982. La presencia de una importante vegetación, la protección asociada al ámbito del parque, y fuera de éste la urbanización intensa en Olot y poblaciones limítrofes han condicionado una escasa presencia de afloramientos que ha dificultado el avance en el conocimiento de la zona. Aun así, la presión urbanística sobre el mismo límite de las áreas protegidas permite la aparición de afloramientos efímeros como el estudiado, que son una valiosa fuente de información. En otoño de 2005 la excavación hecha en el flanco del cono del Puig de la Garrinada para la construcción de un bloque de pisos permitió una intervención de urgencia para el levantamiento y muestreo de la columna vulcanoestratigráfica expuesta, y al mismo tiempo el desarrollo de una metodología de estudio para este tipo de conos, dada la inexistencia previa de protocolos establecidos. Las características generales de la metodología y los resultados principales del estudio se presentan en esta nota.



FIGURA 1. Situación del volcán Puig de la Garrinada y del afloramiento estudiado. El núcleo urbano es Olot (imagen satelital procedente de Google Earth, modificada).

## AFLORAMIENTO Y SECUENCIA VULCANOESTRATIGRÁFICA

El afloramiento estudiado se encuentra en el margen del cono. La excavación realizada tenía varios metros de profundidad y una planta poligonal, por lo que puso al descubierto toda la secuencia del cono además de mostrar varias secciones perpendiculares entre sí que permitieron observar la morfología tridimensional de los depósitos. Dado que el afloramiento se encuentra en un margen del cono, la secuencia observada se halla condensada pero no reducida, permitiendo el estudio de la secuencia completa desde la colada de lava basal a techo en menos de 11 metros.

La secuencia vulcanoestratigráfica está formada por 7 niveles (denominados A-G de base a techo) (Figura 2): el nivel A es un potente depósito estromboliano formado por un empaquetamiento denso de bombas de hasta un metro de diámetro y lapilli grueso. El nivel B es una continuación de A de granulometría menor, formado por capas centimétricas de lapilli fino y cenizas intercaladas con capas más gruesas parecidas a A. C es un depósito de un solo evento, tiene medio metro de grosor, con una zona basal de lapilli grueso y una parte superior formada por lapilli fino con laminaciones cruzadas. D es un depósito oligomítico con soporte de matriz que contiene bombas y lapilli grueso recubiertos de un material fangoso. Es de color marrón claro, presenta estructuras de carga en la base y tiene unos 2 metros de potencia. E es un nivel delgado formado por varias capas centimétricas bien diferenciadas entre sí por cambios en la cohesividad y el color. El material es lapilli fino y ceniza gruesa, y las capas presentan colores alternantes entre gris oscuro (niveles friables) y ocre y rosa (niveles endurecidos). El color del lapilli viene dado por unos recubrimientos de partículas muy finas que cubren los piroclastos. F es un nivel de medio metro de carácter muy homogéneo formado por fragmentos escoriáceos de tamaño lapilli fino. La secuencia termina con G, un nivel de 2 metros formado por una laminación muy fina de lapilli fino y ceniza.

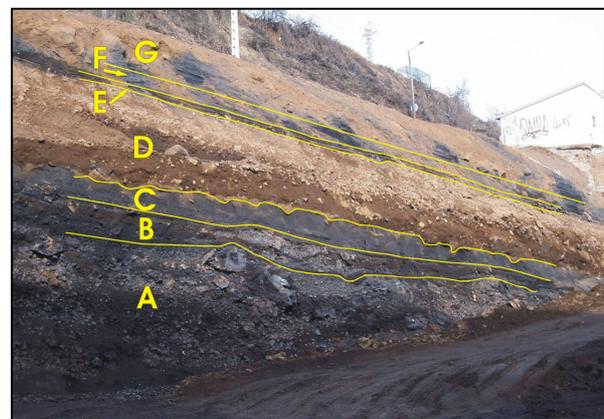


FIGURA 2. Secuencia vulcanoestratigráfica estudiada. Se han indicado los diferentes niveles descritos en el texto, correspondientes a variaciones en la dinámica eruptiva. El corte representa una sección perpendicular a la dirección de transporte. Este afloramiento efímero ha sido cubierto casi totalmente con cemento armado.

**TOMA DE MUESTRAS Y PROCEDIMIENTOS ANALÍTICOS**

El primer paso fue establecer la secuencia vulcanostratigráfica y realizar una descripción detallada de los diferentes depósitos observados. Entonces, dada la buena calidad del afloramiento, se hizo un muestreo muy detallado de la secuencia, poniendo especial énfasis en los niveles más finos. Las muestras recogidas fueron observadas con una lupa binocular para identificar los diferentes materiales que forman el cono volcánico. Se identificaron varios materiales: clastos accidentales sedimentarios, clastos accidentales de lava masiva, escoria oxidada, escoria con película oxidada, xenolitos, cristales (xeno- y feno-), bombas, piroclastos fluidales, piroclastos no fluidales, y recubrimientos. Una vez reconocidos los materiales que componen el edificio volcánico, el estudio se basó en la observación detallada de estos materiales a diferentes escalas y mediante diferentes técnicas para la obtención de la máxima información posible a través de su caracterización morfoscópica, petrológica y geoquímica, así como de su distribución dentro de la secuencia.

Para el estudio de la distribución de los materiales dentro de la secuencia eruptiva se diseñó una ficha descriptiva que permitió la descripción sistemática de las muestras recogidas y el vaciado de los datos obtenidos en tablas que facilitaban el posterior análisis de estos, tal como queda resumido en la figura 3. A continuación se llevaron a cabo estudios más detallados de algunas muestras y materiales mediante SEM; se hicieron estudios morfoscópicos y análisis químicos

cuantitativos (SEM+EDS) de los distintos materiales; este tipo de estudios han sido ampliamente contrastados por lo que se refiere a la caracterización del tipo y variaciones del volcanismo explosivo (Heiken y Wohletz, 1992). También se prepararon láminas delgadas de algunas de las muestras recogidas en los términos inferiores de la secuencia para el estudio petrológico de bombas, flujo de lava basal y xenolitos mediante la observación con microscopio petrológico.

Finalmente se llevo a cabo el análisis geoquímico de roca total (FRX, elementos mayores y trazas) de algunos materiales: piroclastos fluidales y no fluidales, algunas bombas, lítico accidental de lava masiva, y algunas muestras de colada basal (sustrato relativo).

**DISCUSIÓN**

La interpretación de las observaciones de campo y los análisis de las muestras y materiales hechos permitió deducir diversos aspectos sobre el origen del magma, tasas de flujo, variaciones en la columna de magma, mecanismos eruptivos, así como diversas interacciones entre el magma y el acuífero, que permitieron al final proponer un modelo eruptivo para este volcán, y que se expone a continuación.

El sustrato del cono está formado por flujos de lava basanítica que se expandieron cerca de, y dentro de, un ambiente lacustre poco profundo. El centro eruptivo inició la emisión con actividad estromboliana que empezó a construir la base del cono por caída de piroclastos estrombolianos gruesos (A a B). A

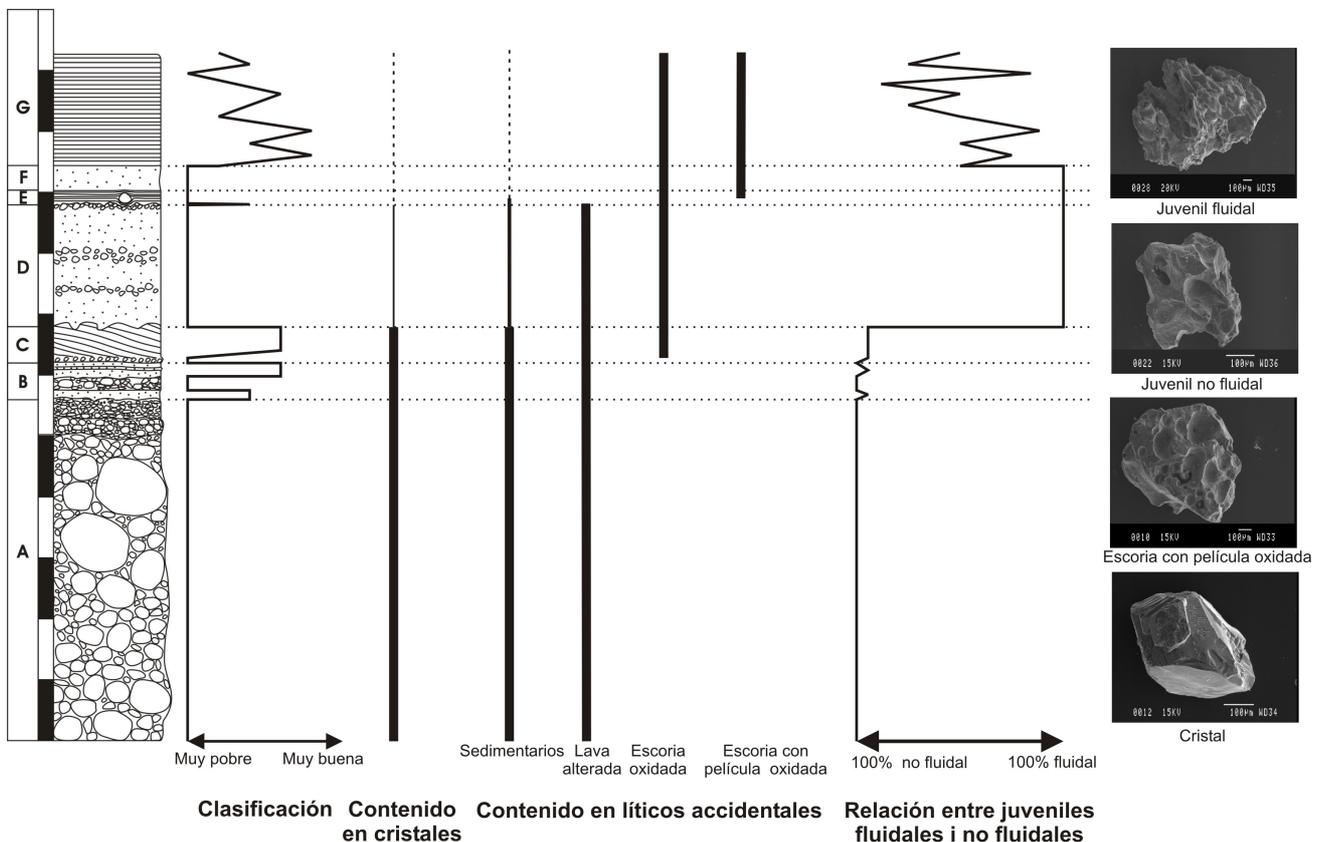


FIGURA 3. Esquema resumen del estudio de las muestras recogidas realizado con la ficha descriptiva. Las imágenes de SEM de la derecha son ejemplos de algunos de los tipos de materiales estudiados.

continuación, el descenso en la tasa de emisión del magma permitió la interacción de éste con el agua de un acuífero piroclástico y la aparición de la actividad freatomagmática (B), que dominó ya hasta el final del evento eruptivo (C a G). Durante la actividad freatomagmática se dieron variaciones en la relación magma/agua, la geometría de contacto entre ambos fluidos (en el conducto eruptivo) y la profundidad de interacción, que produjeron cambios en la explosividad, los mecanismos de transporte, las características de los depósitos, así como una variación en la composición de los materiales accidentales movilizados y expulsados por el volcán, en función en este último caso del nivel relativo de la interacción agua-magma dentro del conducto eruptivo en cada momento. Estas variaciones en las interacciones agua-magma también causaron la formación simultánea de piroclastos típicos de actividad freatomagmática y estromboliana.

La caracterización petrográfica y geoquímica de los piroclastos finos, flujos de lava y bombas muestra composiciones basálticas y de basalto alcalino sódico del magma.

## CONCLUSIONES

Este tipo de estudios en volcanismo explosivo básico son relativamente poco abundantes, si bien cuando se han llevado a cabo han demostrado su efectividad en la reconstrucción de los mecanismos eruptivos y, en el caso del freatomagmatismo, los procesos de interacción magma-agua durante el curso de la erupción (véase por ejemplo, Ono *et al.*, 1995; Taddeucci *et al.*, 2004; Moune *et al.*, 2007). Por tanto, toda aportación en este campo de investigación tiene un interés potencial para un gran número de investigadores, en especial aquellos que trabajan en términos de riesgo volcánico.

Este estudio representa la primera contribución al conocimiento de la actividad explosiva de un cono volcánico en la Garrotxa, donde los afloramientos existentes (y los efímeros que se generan en relación con los procesos de urbanización) permitirán llevar a cabo estudios semejantes en el futuro.

El tipo de estudio realizado permite discriminar con buena aproximación la historia eruptiva de un cono monogenético con variaciones en su dinámica eruptiva, y las interacciones del magma con el acuífero. Este tipo de estudio requiere un protocolo simple, una disponibilidad de material reducida (y por tanto es factible sobre el terreno, en el estudio de afloramientos efímeros, y en casos en los que se requieran resultados rápidamente, p.e. en erupciones en curso) y consiente, gracias al muestreo realizado, la prosecución de estudios más detallados (p.e., geoquímicos).

## AGRADECIMIENTOS

El constructor Travesas facilitó amablemente el acceso al afloramiento y por tanto la realización del trabajo. D. de Rita, C. Cimarelli y F. di Traglia (Università di Roma III) y F.J. Pérez Torrado (ULPGC) han aportado diferentes ideas y sugerencias durante el desarrollo del trabajo. El trabajo analítico se ha llevado a cabo en el Dept. de Geoquímica, Petrología i Prospecció Geològica y Serveis Científic-Tècnics de la Universitat de Barcelona (UB); gracias en especial a J. Illa, J. García-Veigas, E. Seguí, y X. Llobet. Este trabajo se ha desarrollado en el marco del Grupo de Investigación Consolidado SGR 2005 795 (AGAUR, DURSI de la Generalitat de Catalunya) y del proyecto CGL2007-63727/BTE (MEC).

## REFERENCIAS

- Araña, V., Aparicio, A., Martín Escorza, C., García Cacho, L., Ortiz, R., Vaquer, R., Barberi, F., Ferrari, G., Albert, J. y Gassiot, X. (1983): El volcanismo neógeno cuaternario de Cataluña: caracteres estructurales, petrológicos y geodinámicos. *Acta Geológica Hispánica*, 18: 1-17.
- Gisbert, G. (2006): *Estudi dels mecanismes eruptius del volcà Puig de la Garrinada (Olot)*. Trabajo de Final de Carrera (inérito), Facultat de Geologia, Universitat de Barcelona, 84 pp + anexo de 18 pp.
- Heiken, G. y Wohletz, K. (1992): *Volcanic Ash*. University of California Press, Berkeley, 2a edición, 432 p.
- López Ruiz, J. y Rodríguez Badiola, E. (1985): La región volcánica mio-pleistocena del NE de España. *Estudios Geológicos*, 41: 105-126.
- Martí, J. y Mallarach, J.M. (1987): Erupciones hidromagmáticas en el volcanismo cuaternario de Olot (Girona). *Estudios geológicos*, 43: 31-40.
- Moune, S., Faure, F., Gauthier, P.J. y Sims, K.W.W. (2007): Pele's hairs and tears: natural probe of volcanic plume. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 164: 244-253.
- Ono, K., Watanabe, K., Hoshizumi, H. y Ikebe, S.I. (1995): Ash eruption of the Naka-Dake crater, Aso Volcano, Southwestern Japan. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 66 (1-4): 137-148.
- Taddeucci, J., Pompilio, M. y Scarlato, P. (2004): Conduit processes during the July-August 2001 explosive activity of Mt. Etna (Italy): inferences from glass chemistry and crystal size distribution of ash particles. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 137 (1-3): 33-54.