

# Noves datacions per a la cronologia de l'erupció del volcà del Crosat (La Garrotxa)

MARTA PUIGURIGUER<sup>1</sup>, GABRIEL ALCALDE<sup>2</sup>, EMILI BASSOLS<sup>3</sup>, FRANCESC BURJACHS<sup>4,5,6</sup>, ISABEL EXPÓSITO<sup>5,6</sup>, LLORENÇ PLANAGUMÀ<sup>7</sup> & MARIA SAÑA<sup>8</sup>

<sup>1</sup> Axial. Geologia i Medi Ambient SL, av. Doctor Furest, 20. 17455 Caldes de Malavella, [marta@axialgeologia.com](mailto:marta@axialgeologia.com)

<sup>2</sup> Institut Català de Recerca en Patrimoni Cultural & Universitat de Girona, Parc Científic i Tecnològic de la Universitat de Girona, edifici Narcís Monturiol, c/ Emili Grahit 91, 17003 Girona, [gabriel.alcalde@udg.edu](mailto:gabriel.alcalde@udg.edu)

<sup>3</sup> Parc Natural de la Zona Volcànica de la Garrotxa, can Jordà, 17811 Santa Pau, [webassol@gencat.cat](mailto:webassol@gencat.cat)

<sup>4</sup> ICREA, Barcelona, [francesc.burjachs@uro.cat](mailto:francesc.burjachs@uro.cat)

<sup>5</sup> Universitat Rovira i Virgili, Àrea de Prehistòria, av. de Catalunya, 35, 43002 Tarragona, [isaeba@prehistoria.uro.cat](mailto:isaeba@prehistoria.uro.cat)

<sup>6</sup> IPHES, Institut Català de Paleoecologia Humana i Evolució Social, c/ Escorxador, s/n., 43003 Tarragona

<sup>7</sup> Tosca. Equip d'educació ambiental, Casal dels Volcans, av. Santa Coloma, s/n 17800 Olot, [lloren@tosca.cat](mailto:lloren@tosca.cat)

<sup>8</sup> Universitat Autònoma de Barcelona, Departament de Prehistòria, edifici B. Facultat de Filosofia i Lletres, 08193 Bellaterra, [maria.sana@uab.cat](mailto:maria.sana@uab.cat)

Rebut: 29.11.2011

Acceptat: 9.10.2012

## RESUM

Aquest treball presenta els darrers resultats de la recerca desenvolupada en matèria de geocronologia de la darrera erupció de la zona volcànica de la Garrotxa. La investigació s'ha basat en l'anàlisi del <sup>14</sup>C contigut en la matèria orgànica present en un paleosòl situat just a sota dels dipòsits volcànics piroclàstics atribuïts al volcà del Crosat. Els resultats obtinguts, entorn els 13.160 i els 15.717 anys cal BP, resulten lleugerament superiors a l'edat obtinguda abans pel mètode de termoluminiscència de les plagiòclasis (entorn de 11.500 BP) i confirmen, en tot cas, que el Crosat és la darrera manifestació volcànica de la península Ibèrica. Les dades obtingudes han estat correlacionades amb les anàlisis pol·líniques, que han permès fer la reconstrucció climàtica del període en el que s'emmarca l'erupció. Aquests resultats obren perspectives a l'aplicació d'aquest mètode en els paleosòls i sediments lacustres vinculats a les darreres manifestacions volcàniques de la Garrotxa.

**Paraules clau:** geocronologia, carboni 14, Parc Natural de la Zona Volcànica de la Garrotxa, Quaternari, volcà del Crosat.

## Abstract

This paper presents the latest results of geochronological research into the last eruption of the volcanic area of La Garrotxa, Catalonia. The study is based on <sup>14</sup>C

analysis of organic matter contained in the palaeosols located under the pyroclastic volcanic fall deposits of the volcano Crosat. The results obtained date this volcano at between 13,160 and 15,717 years cal BP, and these are slightly older than the age obtained by the thermoluminescence method of plagioclase (around 11,500 BP) but nevertheless still confirm, in all cases, that the eruption of the volcano Crosat was the most recent such activity of the Iberian Peninsula. The results obtained were correlated with pollen analysis, which permit a reconstruction of the climate of the eruption period. These results open perspectives for the application of this method to the palaeosols and lacustrine sediments from other recent volcanic events in La Garrotxa.

**Keywords:** Geochronology, carbon-14, Garrotxa Volcanic Zone Natural Park, Quaternary, Crosat volcano.

## INTRODUCCIÓ

La zona volcànica de la Garrotxa és considerada com la més recent i més ben conservada de la Península Ibèrica, essent el volcà del Crosat la manifestació volcànica més jove fins ara coneguda. Les manifestacions volcàniques que van tenir lloc a Catalunya durant el Neogen i el Quaternari s'emmarquen dins d'un ampli context geodinàmic que afectà una gran part de l'Europa occidental, on es situen diverses manifestacions volcàniques com la zona d'Eiffel a Alemanya, l'Alvènia

Empordà		La Selva		La Garrotxa	
Cadaqués	14.780.000±530.000	Puig Marí	6.610.000±800.000	Castellfollit	217.000±35.000
Vilacolum	8.800.000±350.000	St. Maurici	4.970.000±200.000	Les Medes	93.500±6.500
Flaçà	6.720.000±520.000	Hostalric	1.990.000±200.000	La Pomareda	11.000±1.100

TAULA 1. Edats del camp volcànic català (extret de MARTÍ *et al.*, 2000: 45).

a França i l'Empordà, la Selva i la Garrotxa a Catalunya (MARTÍ *et al.*, 2000).

Dins del context català el conjunt de roques eruptives neogenoquaternàries es distribueixen a les comarques de l'Empordà, la Selva i la Garrotxa. Les dades geocronològiques disponibles, fins al moment, permeten deduir que l'activitat magmàtica es va iniciar a l'Empordà, posteriorment es va desplaçar a la Selva i, finalment es va desenvolupar a la Garrotxa, on es concentren més de quaranta cons volcànics i diverses colades de lava. Les dades referents a la cronologia d'aquests tres sectors del camp volcànic català, divulgades a través de diversos treballs inèdits i publicacions han estat referenciades a la TAULA 1 (MARTÍ *et al.*, 2000).

En els darrers anys s'han dut a terme diversos estudis geocronològics dels dipòsits volcànics de la Garrotxa a través de diferents tècniques de datació, ja sigui relativa (paleontologia, estratigrafia, geomorfologia, paleomagnetisme i anàlisis pol·líniques) o absoluta (datacions radiomètriques a partir d'isòtops i termoluminescència de la plagiòclasi) (MALLARACH, 1998).

Des de principis del segle passat, amb períodes de més intensitat investigadora, s'han dut a terme alguns estudis geocronològics dels dipòsits volcànics de la Garrotxa a través de diferents estudis estratigràfics, paleontològics, morfològics (BOLÒS, A. 1925, BOLÒS, M.T. 1957; 1985, SOLÈ SABARÍS, 1962) i paleomagnètics (GUARDIA, 1964) que han intentat donar una edat relativa als diferents materials volcànics. Pel que fa referència a les datacions absolutes, s'han datat algunes colades de lava pel mètode radiomètric K/Ar i de la termoluminescència de les plagiòclasis presents als basalts (DONVILLE, 1973a, 1973b; ARAÑA *et al.*, 1983; GUÉRIN & VALLADAS, 1980; GUÉRIN *et al.*, 1985-86), correlacionades amb les datacions de K/Ar i per Ar/Ar (LEWIS *et al.*, 2000). Del conjunt d'aquests estudis s'han obtingut algunes dades que indiquen l'edat recent (de fa 350.000 anys) de la zona volcànica de la Garrotxa i el seu funcionament de forma esporàdica.

Les datacions absolutes de què es disposava fins ara per situar cronològicament l'erupció del volcà del Croscaat eren dues anàlisis de termoluminescència fetes a l'any 1985, pel Laboratori de Faibles Radiactivités del Centre d'Énergie Nucleaire, a Gif-sur-Yvett (França). Una

primera, de la colada basanítica situada al con adventici del volcà del Croscaat, anomenat turó de la Pomareda, va donar un resultat 11.500 + 1.100 anys BP (GUÉRIN *et al.*, 1985-86). La segona datació, que va donar un resultat de 17.100 + 1.600 BP (GUÉRIN *et al.*, 1985-86), va ser de la colada de lava situada a les Fonts de Sant Roc, en aquells moments atribuïda al volcà del Croscaat, però que posteriorment s'ha determinat que no provenia d'aquest volcà (PLANAGUMÀ, 2005).

És en aquest marc d'estudi de la geocronologia dels volcans garrotxins que es va desenvolupar un projecte de recerca per situar cronològicament el moment final de les erupcions volcàniques de la zona de la Garrotxa durant els anys 2006 i 2007. Aquest projecte ha treballat en la datació pel mètode del <sup>14</sup>C del paleosòl situat per sota del dipòsit volcànic atribuït al volcà del Croscaat.

El volcà del Croscaat és el més alt de la península amb 160 metres d'alçada relativa, i té una base de 950 metres de diàmetre. Està constituït per un únic edifici de tipus con d'escòries que té una morfologia cònica desfigurada pel seu cràter en forma de ferradura, esbocat cap a l'Oest. Durant l'erupció es van succeir tres fases eruptives, les dues primeres explosives de caire estrombolià i la tercera efusiva. Les fases estrombolianes van ser les responsables de la construcció del con volcànic i de projectar piroclastos que van recobrir els volcans veïns. La fase efusiva va emetre un corrent de lava de composició basanítica que es va escolar cap a l'oest.

#### LA DATACIÓ PER <sup>14</sup>C DEL VOLCÀ DEL CROSCAT

L'estratègia aplicada per tal d'aportar informació a la cronologia del volcà del Croscaat ha anat encaminada a l'obtenció d'una datació absoluta de la part superior d'un nivell prevolcànic, damunt del qual se situa el dipòsit de caiguda format pels piroclastos emesos pel volcà del Croscaat, obtenint d'aquesta manera una data *ante quem* de l'erupció que hauria originat aquest dipòsit volcànic. En el cas que no s'hagués produït una erosió en aquesta zona, i descartant, per tant, la presència d'un hiatus estratigràfic, aquesta datació indicaria el moment previ a l'erupció volcànica.

Amb aquest objectiu s'han realitzat datacions radiocarbòniques d'una seqüència de quatre mostres de sediment procedents d'una columna obtinguda del paleosòl situat immediatament per sota el dipòsit



FIGURA 1. Sondeig dut a terme al pla del Torn amb el volcà del Croscat al fons.

volcànic. Per a l'obtenció de la columna del paleosòl anterior a l'erupció del volcà del Croscat s'han dut a terme dos sondeigs, que s'han anomenat "Torn-06" i "Torn-07", a una fondària total de 16,80 i 25,00 metres, respectivament, amb perforació per rotació i recuperació de testimoni continu, a la zona coneguda com el pla del Torn, al peu del vessant NE del con volcànic del Croscat (FIGURES 2 i 3).

El pla del Torn presenta una morfologia elíptica deprimida, còncava i tancada que correspon a un antic cràter d'explosió, que forma part d'un complex volcànic format pels volcans del Puig de Martinyà, el Torn i Puigsafont, reblert pel mantell piroclàstic projectat pel volcà del Croscat (FIGURA 2). En aquest context fisiogràfic es considera que aquesta zona deprimida és improbable que hagi patit erosions importants abans de l'erupció del volcà del Croscat i per tant, el seu registre sedimentari ha estat poc alterat pel pas del temps i ha ofert la possibilitat que s'hi acumulés un gruix de sediments potencialment rics en matèria orgànica.

La datació de restes vegetals carbonoses produïdes per la pròpia erupció volcànica, que ha estat possible en altres casos (per exemple, al volcà canari del Teide), no s'ha pogut fer a la zona volcànica de la Garrotxa. Això és degut a que, tot i les prospeccions realitzades, no han estat localitzades restes d'aquest tipus sota les colades de lava, ni sota els dipòsits piroclàstics de caiguda de



FIGURA 2. El pla del Torn des del capdamunt del volcà del Croscat.

volcans atribuïbles al període de possible utilització del  $^{14}\text{C}$  que pot arribar com a màxim, a uns 45.000 anys.

Es considera que la manca d'elements vegetals carbonitzats pot ser deguda a la poca vegetació present el moment de les erupcions, al fet que els dipòsits làvics van arrasar el que es trobaven al seu pas i a que els dipòsits piroclàstics no van permetre la combustió dels substrat forestal (PUIGURIGUER, 2006). Descartada aquesta possibilitat, s'ha treballat en la datació de sediments orgànics. La tècnica que s'ha aplicat per la datació del volcà del Croscat és la datació radiomètrica del carboni 14 ( $^{14}\text{C}$ ).

Concretament s'han datat mostres procedents de les següents fondàries: 14,90 m, 15,00 m, 15,05 m i 15,10 m del sondeig 'Torn-06' (FIGURA 4). Les quatre mostres



FIGURA 3. Un moment de la recollida de mostres del testimoni del sondeig del pla del Torn (Torn-07).

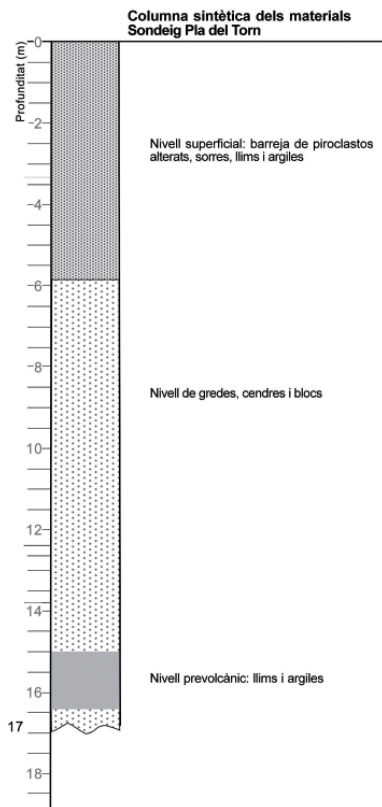


FIGURA 4. Columna litoestratigràfica dels materials obtinguts del sondeig del pla del Torn (Torn-06).

s'han datat amb el mètode del  $^{14}\text{C}$  AMS a *Beta Analytic radiocarbon Dating Laboratory* (Miami, USA). El material datat ha estat diferent: per a les tres mostres superiors s'ha datat tot el contingut del sediment (*bulk sediment*), mentre que per a la mostra inferior s'envia a datar només el residu palinològic contingut a la mostra de sediment, prèviament separat pel tractament físico-químic palinològic. Les datacions obtingudes d'aquestes mostres i la seva calibració (PUIGURIGUER *et al.*, 2012) es detallen en la Taula 2 i en la FIGURA 5.

Cal remarcar que el mètode de termoluminiscència de les plagiòclasis que va assignar una edat de 11.500 anys BP per a les laves del Turó de la Pomareda, tenia incorporada una incertesa de 1.100 anys. La suma de 11.500 amb 1.100 dona 12.600 anys BP, una edat que es desvia molt poc dels aproximadament 13.100 anys obtinguts recentment pel mètode del carboni 14.

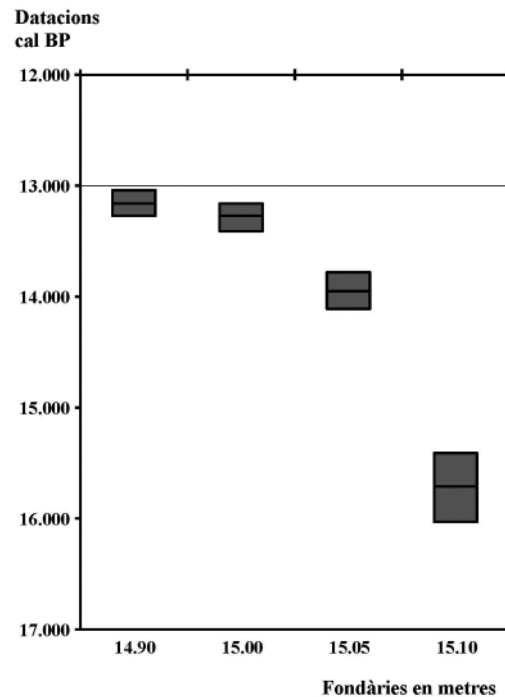


FIGURA 5. Relació entre les datacions de  $^{14}\text{C}$  dutes a terme en les mostres del sondeig del pla del Torn.

#### ANÀLISI PALINOLÒGICA

Per tal d'aportar més informació sobre les característiques i cronologia relativa del moment previ al que va tenir lloc l'erupció volcànica del volcà del Crosat es va dur a terme l'anàlisi palinològica corresponent a la part inferior del sondeig "Torn-06". Per a aquesta anàlisi es rebutjaren les mostres que visualment pertanyien a gredes i cendres, mostrejant-ne només aquelles que potencialment podien pertànyer a sediments prevolcànics (paleosòls).

Així, s'analitzaren 12 mostres (entre 14,90 i 16,50 m), de les quals només han proporcionat resultats òptims 4 d'elles (entre 15,00 i 15,20 m). La resta contenen massa gredes i tenen senyals d'oxidació del sediment, sense gairebé contingut pol·línic, fet que indica que no pertanyen a sediments palustres, sinó a fases de deposició de cendres i gredes, en un lloc on potser, hi havia estancaments d'aigua efímers (estacionals). De les quatre mostres que donaren bons resultats hem calculat una mitjana que mostrem en el gràfic de la FIGURA 6.

Profunditat de mostra (m)	Edat radiocarbònica	Interval (2 sigma- 95%)	Intersecció edat radiocarbònica / corba calibració	Mostra
15,10	13260 $\pm$ 50 BP	16030 - 15410 cal BP	15710 cal BP	Beta-225760
15,05	12090 $\pm$ 60 BP	14110 - 13780 cal BP	13950 cal BP	Beta-244068
15,00	11420 $\pm$ 60 BP	13410 - 13160 cal BP	13270 cal BP	Beta-245869
14,90	11260 $\pm$ 60 BP	13270 - 13040 cal BP	13160 cal BP	Beta-245868

TAULA 2. Dades obtingudes de l'anàlisi del  $^{14}\text{C}$  de la matèria orgànica obtinguda del nivell no volcànic situat per sota del mantell piroclàstic del volcà del Crosat (Torn-06).

Els resultats ens parlen d'un paisatge vegetal semiobert, amb uns valors de densitat arbòria (AP) d'un 42%. Aquest paisatge estava constituït bàsicament per prats i estepes de gramínies, artemísies i altres asteràcies, on hi haurien arbres disseminats i bosquets amb roures, alzines, aurons i, probablement, castanyers, arcebuters en els indrets de microclima més tèrmic. Tot això ens situaria en l'inici del desgel, una vegada passat el Màxim Glacial (FIGURA 7).

D'altra banda, també es comencen a notar senyals d'augment pluviomètric respecte de la l'anterior fase glacial. Això es manifestaria per la presència d'arbres caducifolis, com ara roures, aurons i avellaners, així com d'altres de ribera (oms, verns i salzes).

El senyal de què plovia i les aigües s'embassaven la proporciona la troballa de pol·lens d'herbes higroaquàtiques, com ara de ciperàcies, apiàcies, alismes i boga o espargani.

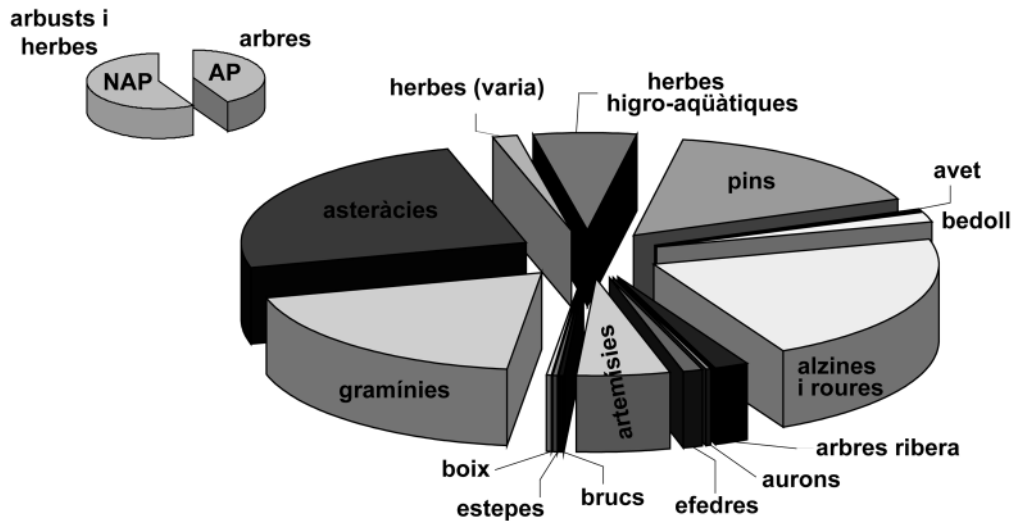


FIGURA 6. Tònus vegetals trobats a l'anàlisi paleopol·línica del pla del Torn. Aquestes dades són el resultat de calcular la mitjana de les quatre mostres analitzades i fèrtils.

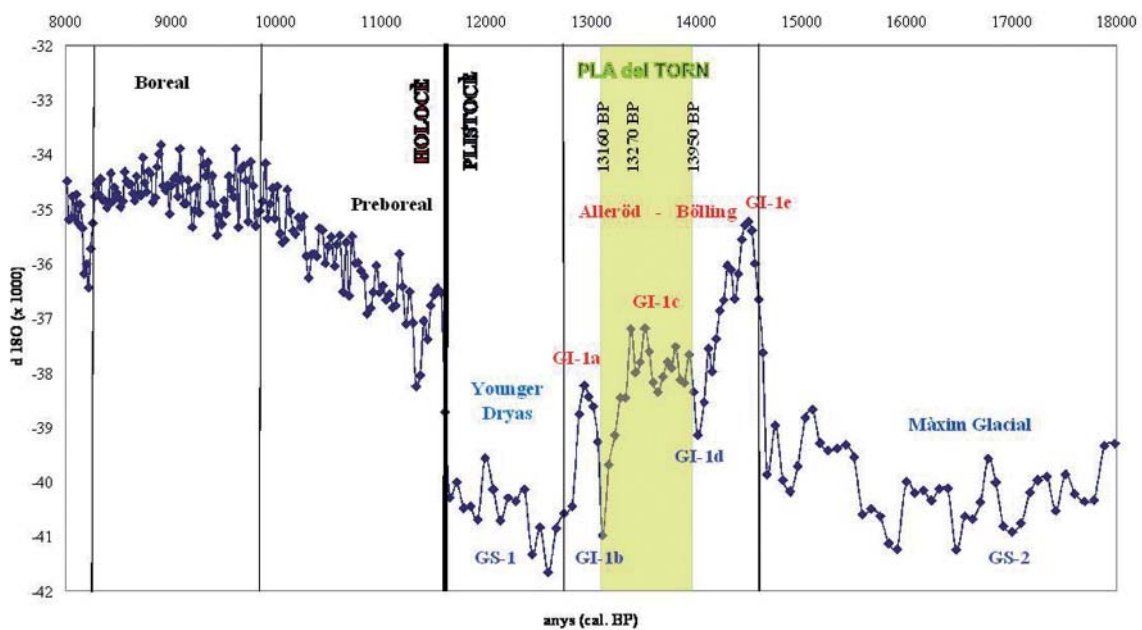


FIGURA 7. Corba de variació de l'oxigen 18/16 del dipòsit GISP2 (GROOTES & STUIVER, 1997), on s'hi ha sobreposat el segment cronològic de l'erupció del volcà del Croscat i de les mostres analitzades palinològicament, a fi de situar climàticament l'erupció del Croscat.

Climàticament l'erupció volcànica succeiria, segons les tres datacions radiocarbòniques vàlides, durant la fase interestadial GI-1c (WALKER *et al.*, 1999) del Tardiglaciari, que amb la terminologia clàssica en diríem Bölling-Alleröd (FIGURA 7). I, de fet, és el que concorda amb els resultats de l'anàlisi palinològica: una vegetació de tipus interestadial, on hi ha espècies termòfiles (roures, alzines...) junt a les típiques d'ambients freds (artemísies, efedres...), i tot això dins d'un paisatge més aviat obert, de tipus devesa natural.

## CONCLUSIONS

Els resultats de les datacions obtingudes presenten una coherència entre elles, estan organitzades de més antigues a més modernes al pujar en l'estratigrafia i presenten resultats molt propers. Únicament la datació de la mostra corresponent a 15,10 metres s'allunya lleugerament de la resta; aquest fet podria ser conseqüència del diferent pretractament donat a la mostra, però també podria ser resultat del ritme de sedimentació tenint present que aquesta mostra està separada 20 cm de la mostra superior.

Les quatre mostres presenten diferències significatives entre elles i, per aquest motiu, la successió de les datacions és indicativa del ritme de sedimentació. A partir de les quatre datacions obtingudes es pot determinar que la part superior del nivell no volcànic del sondeig "Torn-06" (14,90 m) s'hauria dipositat en un moment que se situaria entre 13.270-13.040 cal BP (95% de probabilitat). A partir d'aquests resultats es pot determinar que l'erupció volcànica es va produir just després d'aquest moment, i, per tant, molt probablement a final del catorzè mil·lenni BP o a l'inici del tretzè mil·lenni BP.

Un paisatge amb predomini de vegetació herbàcia podria explicar que no s'hagin trobat carbons de vegetals llenyosos a sota dels dipòsits volcànics d'aquesta zona, i en tot cas, s'adiu amb la fase interestadial indicada per les datacions radiomètriques.

En base a les dades obtingudes fins al moment i avaluant els bons resultats de l'aplicació de la tècnica radiomètrica del <sup>14</sup>C sobre materials sedimentaris anteriors a les erupcions, queda palès l'interès de l'aplicació d'aquest mètode a la zona volcànica de la Garrotxa i la possibilitat de continuar treballant en aquest camp, fent noves campanyes de sondeigs per a l'obtenció de noves mostres per al seu posterior anàlisi, que poguessin contrastar aquests resultats i aportessin nous resultats relacionats amb altres episodis volcànics anteriors a 45.000 anys BP.

## AGRAÏMENTS

Aquests treballs han estat desenvolupats en el marc de les recerques efectuades pel Parc Natural de la Zona Volcànica de la Garrotxa i han estat possibles gràcies a les aportacions del Parc Natural de la Zona Volcànica de la Garrotxa, el Museu Comarcal de la Garrotxa i l'ajut ACOM (2005ACOM00012).

## BIBLIOGRAFIA

- ARAÑA, V.; APARICIO, A. MARTÍN-ESCORZA, C.; GARCÍA-CACHO, L.; ORTIZ, R.; VAQUER, R.; BARBERI, F.; FERRARA, G.; ALBERT, J. & GASSIOT, X. 1983. El volcanismo neógeno-cuaternario de Catalunya: caracteres estructurales, petrológicos y geodinámicos. *Acta Geológica Hispánica*, 18 (1): 1-17.
- BOLÒS, A. 1925. L'estació paleontològica del Pont de Ferro i algunes consideracions sobre el vulcanisme olotí. *Butlletí de la Institució Catalana d'Història Natural*, 2ª sèrie vol. V, núm 4. Barcelona.
- BOLÒS, M. T. 1985. El volcanismo gerundense: el caso de Olot. *Notas de Geografía Física*, 13-14: 35-42.
- BOLÒS, M. T. 1957. Terrazas del río Fluvià. Res. des communications. Congrès geologique de l'INQUA. Livret guide de l'excursion núm. 1 Pyrénées Madrid-Barcelona.
- DONVILLE, B. 1973a. Ages potassium-argon des vulcanites du Haut-Ampurdan (Nord-Est de l'Espagne). Implications stratigraphiques. *Comptes rendus de l'Académie des Sciences Paris*, 276.
- DONVILLE, B. 1973b. Géologie Néogène et âges des éruptions volcaniques de la Catalogne orientale. These doct., Fac. Sciences. Université Paul Sabatier. Tolosa de Llenguadoc. Inèdita.
- GROOTES, P.M. & STUIVER, M. 1997. Oxygen 18/16 variability in Greenlands, now and ice with 103- to 105-year time resolution. *Journal of Geophysical Research-Oceans*, 102 (C12): 26455-26470.
- GUARDIA, P. 1964. Volcans Tertiaries et Quaternaires de la province de Gérone et du paléomagnétisme de leurs coulées. *Revue de Géographie Physique et de Géologie*, vol. VI. Fasc. 2, p. 201-210.
- GUERIN, G.; BENHAMOU, G. & MALLARACH, J.M. 1985-86. Un exemple de fusió parcial en medi continental. El vulcanisme quaternari de Catalunya. *Vitrina*, 1: 19-26.
- GUERIN, G. & VALLADAS, G. 1980. Thermoluminescence dating of volcanic plagioclases. *Nature*, 286: 697-699.
- LEWIS, C. VERGÉS, J. & MARZO, M. 2000. High mountains in a zone of extended crust: Insights into the Neogene-Quaternary topographic development of northeastern Iberia. *Tectonics*, 19- 1: 86-102.
- MALLARACH, J.M. 1998. *El vulcanisme prehistòric*. Diputació de Girona.
- MARTÍ, J.; PUJADES, A.; FERRÉS, D.; PLANAGUMÀ, LL & MALLARACH, J.M. 2000. *El vulcanisme: guia de camp de la zona volcànica de la Garrotxa*. Parc Natural de la Zona Volcànica de la Garrotxa. Olot.

**PLANAGUMÀ, LL. 2005.** L'interès geològic del Fluvià a la Garrotxa. *Revista de Girona*, 231: 69-77.

**PUIGURIGUER, M. 2006.** Geocronologia del vulcanisme recent al Parc Natural de la Zona Volcànica de la Garrotxa. Parc Natural de la Zona Volcànica de la Garrotxa. Inèdit.

**PUIGURIGUER, M.; ALCALDE, G.; BASSOLS, E.; BURJACHS, F.; EXPÓSITO, I.; PLANAGUMÀ, LL.; SAÑA, M. & YLL, E. 2012.** 14 C Dating of the last Croscat volcano eruption (Garrotxa Region, NE Iberian Peninsula). *Geológica Acta*, 10, 1: 43-47.

**SOLÉ SABARÍS, L. 1962.** Observaciones sobre la edad del vulcanismo gerundense. Memorias de la Real Academia de Ciencias y Artes de Barcelona. 695/32-12: 359-372.

**WALKER M.J.C.; BJÖRCK, S.; LOWE, J.J.; CWYNAR, L.C.; JOHNSEN, S.; KNUDSEN, K.L.; WOHLFARTH, B. & INTIMATE GROUP 1999.** Isotopic events in the GRIP ice core: a stratotype for the Late Pleistocene. *Quaternary Science Reviews*, 18: 1143-1150.