

Paleomagnetismo del volcanismo de Cataluña: resultados preliminares

J. C. CARRACEDO (1); E. RODRIGUEZ BADIOLA (2); V. SOLER (1) Y P. CHICHARRO (1)

(1) *Estación Volcanológica de Canarias (IRNAC, C.S.I.C.), La Laguna, Tenerife (España)*

(2) *Museo Nacional de Ciencias Naturales, C.S.I.C., José Gutiérrez Abascal, 2. 28006 Madrid (España)*

RESUMEN

En este trabajo se presentan resultados preliminares del estudio paleomagnético del volcanismo catalán correspondientes a La Garrotxa y el Empordà. La estabilidad de la remanencia magnética de estos materiales volcánicos, comprobada mediante desmagnetización térmica y en campos alternantes, ha permitido aislar los componentes originales y, a partir de ellos, los polos del Cuaternario y Mioceno superior, contribuyendo así a una mejor definición de la Curva de Deriva Polar de la Península Ibérica, hasta ahora determinada a partir de un solo Polo (cuaternario) anterior al Mioceno.

Los análisis geoquímicos efectuados en muestras representativas de las diferentes localidades indican una buena correlación entre el contenido y tipo de componentes ferromagnesianos y las características de la Remanencia Magnética Natural (RMN).

INTRODUCCION

El volcanismo de Cataluña se distribuye principalmente en tres zonas bien definidas —La Garrotxa, La Selva y Empordà—, tanto por la localización de los materiales volcánicos como por el tiempo en que se emitieron. Estas diferencias se explican por la asociación del volcanismo a tres fases geodinámicas distintas.

Esta importante área volcánica ha sido desde antiguo objeto de numerosos estudios detallados, que comprenden tanto descripciones de las características volcánicas de los diferentes afloramientos —como los de Calderón (1906), Cazorro (1906), etc., hasta trabajos tectónicos dirigidos

al intento de correlacionar el volcanismo con los sistemas de fracturación regional, como los de Chevalier (1914, 1928) y el de San Miguel y Marcet Riba (1926); posteriormente fueron continuados por otros autores, como Solé Sabaris (1962) y Solé Sugañes (1978), en el intento de lograr una ubicación temporal de este volcanismo en base a estudios estratigráficos y tectónicos, dentro del encuadre geodinámico y evolutivo de las cordilleras Costero Catalanas y su conjunción con el sistema Transversal Catalán. Hay que destacar que el primer estudio paleomagnético de esta zona es el de Guardia, realizado en 1964.

El conocimiento de la edad de los diferentes episodios volcánicos suponía una de las premisas más importantes para el establecimiento del proceso evolutivo del volcanismo, lo cual fue abordado mediante la utilización de técnicas radiogénicas de potasio-argón por Donville (1973 a, b y c), que aportó una serie de edades absolutas de toda la región volcánica y que han supuesto un importante punto de partida para posteriores estudios.

Más tarde fueron publicados varios estudios, recogidos en el trabajo de Araña *et al.* (1983), donde se efectúa una completa revisión de los caracteres estructurales, petrológicos y geoquímicos de este volcanismo, aportándose nuevas determinaciones de edad radiogénicas y estableciendo sus relaciones genéticas con la tectónica de rift del oeste de Europa y del Mediterráneo occidental. Por último, los caracteres petrogenéticos y los procesos de diferenciación geoquímica que han originado las diferentes tipologías de rocas volcánicas han sido tratados por López Ruiz y Rodríguez Badiola (1985), donde se presentan modelos de generación de magmas, que mediante mecanismos de fusión parcial y cristalización fraccionada han dado lugar a los diferentes tipos de basaltos alcalinos, basanitas, basanitas nefelínicas y traquitas que integran este volcanismo.

OBJETO DEL ESTUDIO

Dadas las características de extensión y distribución del volcanismo en las tres unidades de La Garrotxa, Empordà y La Selva, los puntos de muestreo (Fig. 1) se han seleccionado en base a obtener una máxima información en consonancia con las dataciones radiogénicas publicadas, con edades comprendidas entre los 0,007 y 0,7 m.a. para La Garrotxa, de 2,0 a 7,2 para La Selva y de 7,3 a 10,6 para Empordà (Cuadro I).

Se han analizado con detalle las características petrológicas y geoquímicas de las muestras estudiadas, con objeto de intentar establecer algún tipo de correlación con el comportamiento de la RMN. Los caracteres petrológicos y geoquímicos responden a la secuencia de tipologías previamente establecida (ver Cuadro I). En la zona de Olot coexisten los términos basálticos y las basanitas nefelínicas, predominando las texturas hi-

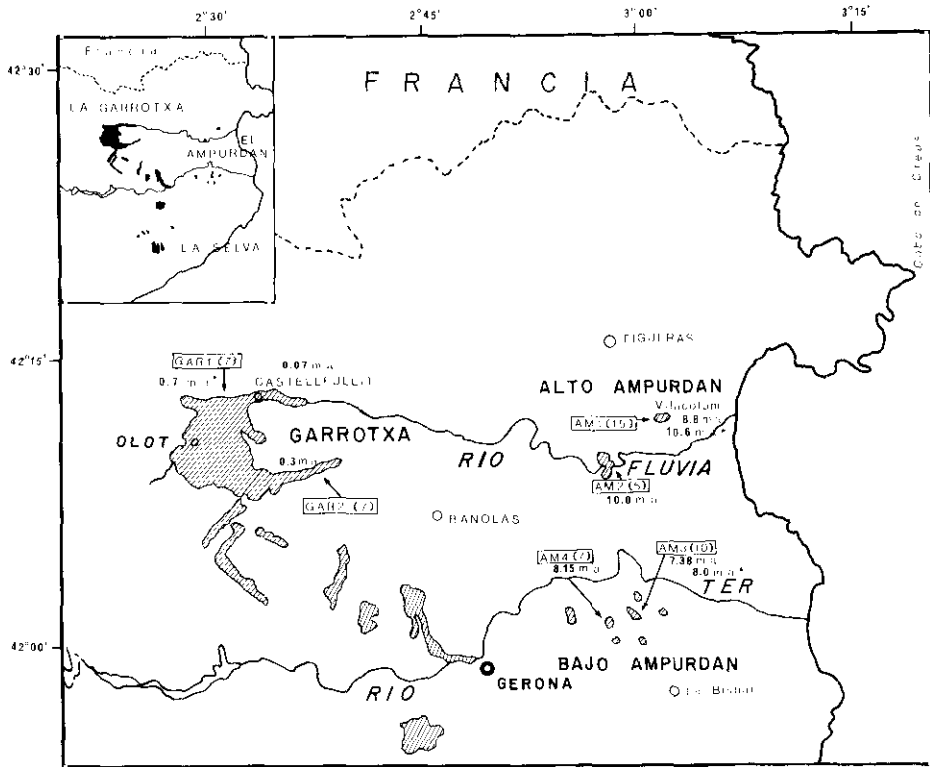


Fig. 1. Distribución del volcanismo de La Garrotxa y el Empordà. Se indican las edades radiométricas publicadas y las localidades de muestreo, con el número de muestras.

pocrystalinas, constituidas por fenocristales de olivino y augita sobre una matriz formada por microcristales de plagioclasa, clinopiroxenos y óxidos minerales.

Las rocas básicas de Empordà comprenden basanitas y basaltos alcalinos, con fenocristales de olivino —que presentan marcados procesos de alteración y oxidación— sobre una matriz microcristalina formada por pequeños cristales de plagioclasa, clinopiroxeno y óxidos de Fe-Ti.

Todas las rocas volcánicas básicas de Olot y Empordà presentan nefelina normativa, lo que permite encuadrarlas dentro del grupo de las rocas básicas alcalinas. En contraposición, la traquita de Vilacolum presenta características petrológicas y geoquímicas diversas, con predominio de fenocristales de oligoclasa-anortoclasa, escasos cristales de augita sódica y biotita oxidada sobre una matriz feldespática y de óxidos minerales.

La mencionada distribución de edades y afloramientos volcánicos de Cataluña ofrece excelentes perspectivas para la aplicación del paleomagnetismo, tanto en la utilización de las inversiones geomagnéticas para la

CUADRO I

Características geoquímicas y petrológicas (norma CIPW) y edades radiométricas de los materiales volcánicos utilizados en el estudio.

	GAR-1	GAR-2	AM-1	AM-2	AM-3	AM-4
SiO ₂	47.03	43.89	65.23	44.73	44.63	43.94
TiO ₂	2.25	2.40	0.41	2.13	2.22	2.15
Al ₂ O ₃	15.36	14.52	16.70	14.85	15.11	14.84
Fe ₂ O ₃	4.29	7.95	2.43	6.79	5.72	6.34
FeO	6.74	3.68	0.33	3.68	5.04	4.24
MnO	0.18	0.18	0.97	0.15	0.17	0.17
MgO	7.44	9.84	0.21	7.94	8.75	8.47
CaO	9.45	9.79	0.99	10.52	9.89	9.64
Na ₂ O	3.17	3.72	6.17	3.52	3.58	3.39
K ₂ O	2.01	2.03	5.47	0.37	0.81	0.97
P ₂ O ₅	0.37	0.51	0.12	0.35	0.86	0.87
LOI	0.72	1.22	0.75	3.88	2.54	4.52
Total	99.21	99.73	99.78	99.43	99.32	99.54
Qz	—	—	6.84	—	—	—
Or	11.88	12.00	32.32	2.19	4.79	5.73
Ab	21.99	11.12	52.21	28.23	24.59	24.60
Ne	2.62	11.03	—	0.84	3.09	2.21
An	21.75	16.93	1.72	23.63	22.77	22.41
Di	17.11	22.04	1.13	17.91	16.19	15.36
Ol	11.34	10.01	—	8.04	10.86	9.79
Mt	6.22	5.49	3.04	6.18	8.29	7.99
Hm	—	4.16	0.33	2.53	—	0.83
Hm	4.27	4.56	0.78	4.05	4.22	4.08
Ap	1.35	1.21	0.28	2.01	2.04	2.06

GAR-1 Garrotxa. Basanita olivínica de Sant Joan les Fonts, 0.7 m.a.**

GAR-2 Basanita olv-pirox. Ctra. Olot a Banyoles (km. 12), 0.3 m.a.*

AM-1 Traquita de Vilacolum, 8.8 m.a.*, 10.6 m.a.**

AM-2 Basalto alcalino de Arenys, 10.0 m.a.*

AM-3 Basanita olivínica de Rupia, 7.38 m.a.*, 8.0 m.a.**

AM-4 Basanita olivínica de Cassa de Peiras, 6.66 m.a., 8.15 m.a.*

(*) Donville (1973)

(**) Araña et al. (1983).

elaboración de una magnetoestratigrafía detallada —que permita la ordenación temporal y la correlación de las emisiones volcánicas—, como en la determinación de Polos Geomagnéticos Virtuales (PGV) del Mioceno superior, Plioceno y Cuaternario, necesarios para una mayor precisión de la Curva de Deriva Polar (CDP) peninsular en su tramo reciente, de escasa definición en la actualidad.

Aunque el estudio en curso pretende la elaboración de la magnetoestratigrafía y la determinación de los PGV de todo el volcanismo catalán, en este primer trabajo se presentan únicamente los resultados obtenidos del estudio de las zonas de La Garrotxa y Empordà.

METODOS EXPERIMENTALES Y RESULTADOS

Las muestras se tomaron con perforación «in situ» y orientadas con brújula solar y fueron sometidas a desmagnetización progresiva tanto en campos alternantes de hasta 50 mT, como a temperaturas de hasta 600 °C. De cada localidad de muestreo se seleccionaron dos muestras para la realización de espectros completos de desmagnetización térmica y en campos alternantes. A partir de la información aportada por estos espectros se seleccionó el rango de 10, 15, 20 y 25 mT para el resto de las muestras, eligiéndose la dirección de la remanencia magnética más adecuada para el análisis estadístico (Fisher, 1953).

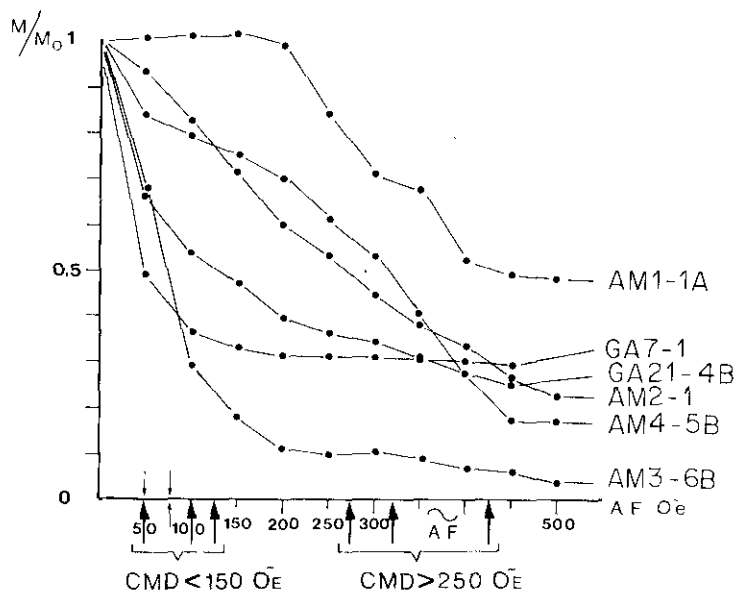
En la figura 2A se muestran los espectros completos de desmagnetización en campos alternantes de una muestra de cada localidad; todas las muestras excepto un basalto del Baix Empordà retienen un 30 % de la RMN incluso en campos superiores a 40 mT, indicando una elevada estabilidad de la remanencia primaria. Destaca en este sentido la traquita de Vilacolum (Alt Empordà), que conserva más del 50 % de la magnetización inicial a 50 mT.

Los espectros de desmagnetización térmica (Fig. 2B) y los diagramas de Zijderveld (1967), que se muestran en la fig. 3, confirman la elevada estabilidad de la remanencia magnética, al no existir cambios importantes en dirección durante el proceso de desmagnetización; parece pues evidente que estos materiales conservan la dirección original del campo geomagnético en el momento del enfriamiento de las lavas y son por consiguiente aptos para la determinación de los PGV correspondientes.

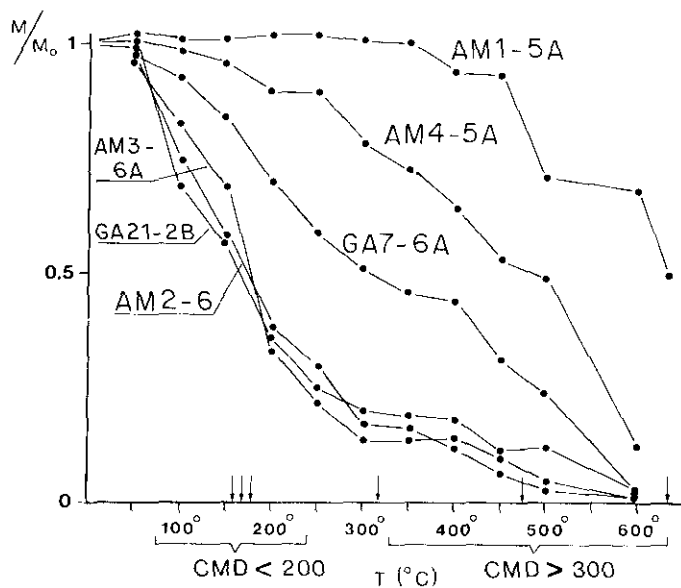
En la fig. 4 se presentan las curvas de saturación isotérmica de muestras representativas de cada localidad, donde puede apreciarse un mayor campo de saturación para los materiales traquíticos (muestra AM 1), como corresponde a un estado de oxidación más avanzado debido a la elevada proporción Fe²⁺/Fe⁰ (ver Cuadro I) y que se refleja asimismo en la gran estabilidad de estas muestras frente a los procesos de desmagnetización y en campos destructivos medios más elevados (ver Fig. 2).

En el Cuadro II se indican los datos paleomagnéticos obtenidos: las direcciones medias de las diversas localidades de muestreo y los PGV correspondientes al Cuaternario de La Garrotxa y el Mioceno superior de Empordà. Como elemento de comparación se indican en el Cuadro III los polos publicados para la Península Ibérica a partir del Cretácico superior.

Por último, en la fig. 5 se muestra la localización en proyección polar de los PGV relacionados en el Cuadro III. Puede observarse cómo el polo determinado para el Cuaternario de La Garrotxa es similar al publicado en la relación de McElhinny (1973) para la misma formación volcánica. Los polos cuaternarios son a su vez muy similares al determinado para el



A



B

Fig. 2. Espectros de desmagnetización en campos alternantes (A) y térmicos (B) de muestras representativas de las diferentes localidades. CDM: campo medio destructivo.

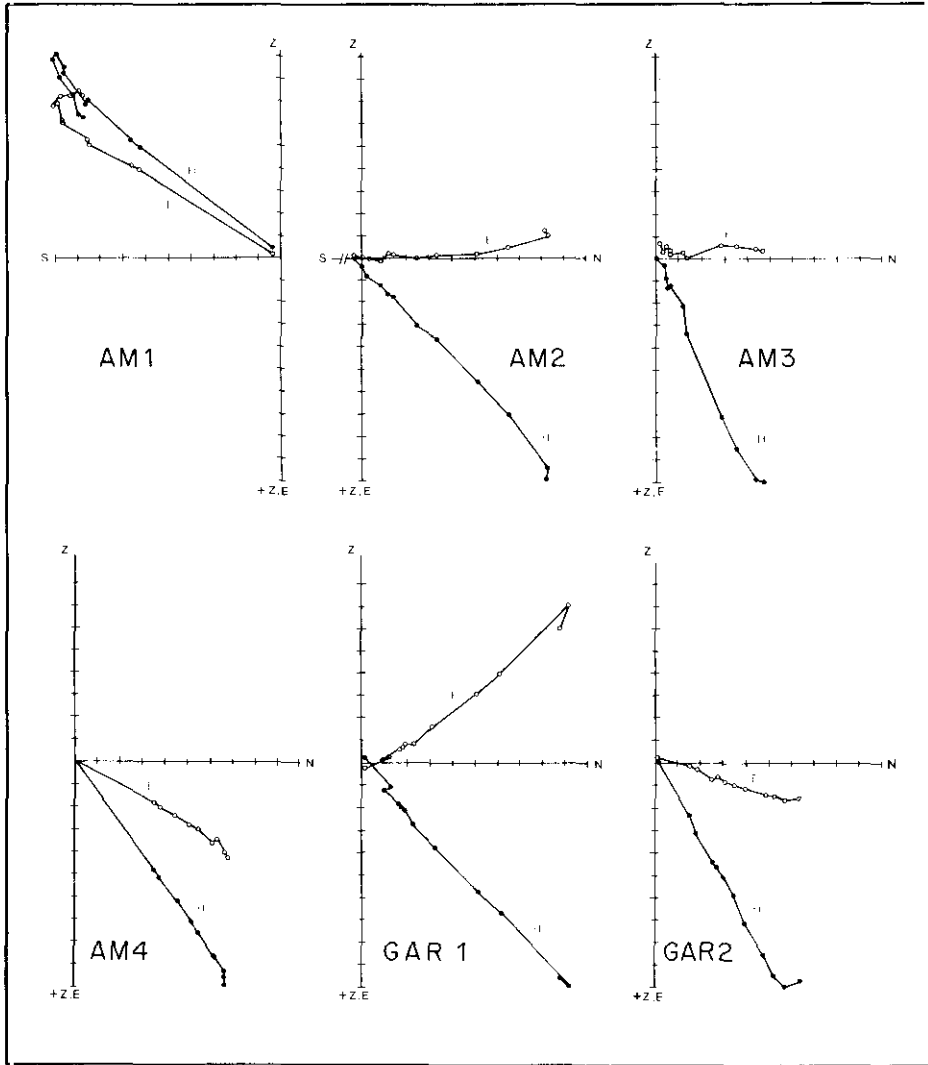


Fig. 3. Diagramas de Zijderveld de las muestras cuyos espectros de desmagnetización se indican en la fig. 2.

Plioceno (3.4 m.a.) a partir de materiales sedimentarios en la zona de Layna (Hoyos, comunicación personal).

Tanto los polos cuaternarios como el del Plioceno se diferencian claramente en Longitud con el determinado para el Mioceno superior (7,91 m.a.) a partir de lavas de Empordà. Esta diferencia de unos 50 grados supone al menos una variación en la CDP de 10 grados por millón de años.

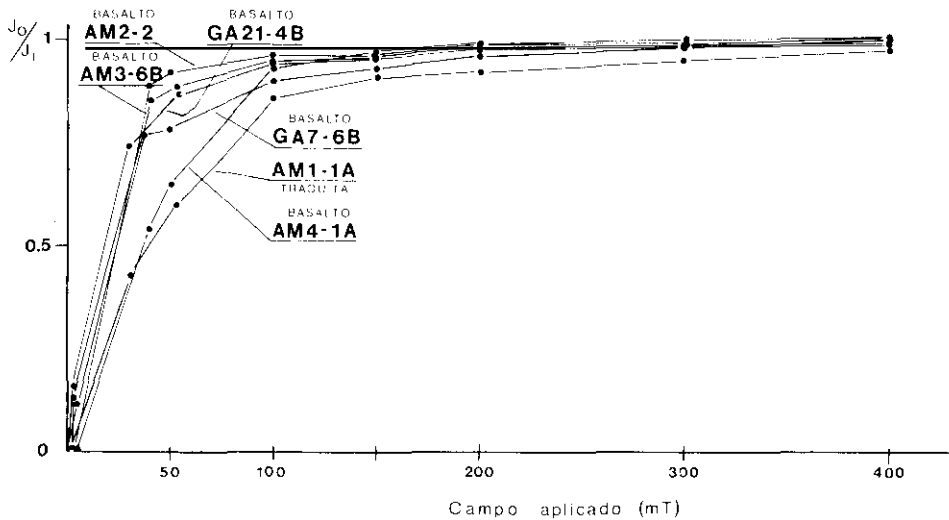


Fig. 4. Curvas de saturación isotérmica de muestras de las diferentes localidades.

CONCLUSIONES

Con los datos disponibles, aún insuficientes, se pueden establecer tentativamente las siguientes conclusiones:

1. Los materiales volcánicos de La Garrotxa y Empordà presentan un comportamiento estable de la remanencia magnética de los procesos de desmagnetización tanto térmica como en campos alternantes. Es posible pues aislar la dirección de la remanencia original y, por consiguiente, determinar PVG fiables.

2. Se ha logrado determinar dos polos virtuales geomagnéticos, correspondientes al Cuaternario —que coincide con otro ya publicado, obteni-

CUADRO II

Datos paleomagnéticos del volcanismo de La Garrotxa y el Empurdà.

Localidad	Situación lat./long.	N. mues.	REMANENCIA			
			Dec.	Incl.	k	α_{95}
Garrotxa 1	42°13'N/2°30'E	7	333.4	46.0	417	2.9
Garrotxa 2	42°13'N/2°30'E	7	15.5	56.0	163	4.7
Empurdà 1	42°12'N/3°00'E	15	190.1	-56.0	18	9.6
Empurdà 2	42°12'N/3°00'E	5	6.4	43.7	267	4.7
Empurdà 3	42°12'N/3°00'E	10	343.8	68.6	257	3.0
Empurdà 4	42°12'N/3°00'E	7	25.2	47.0	338	3.5

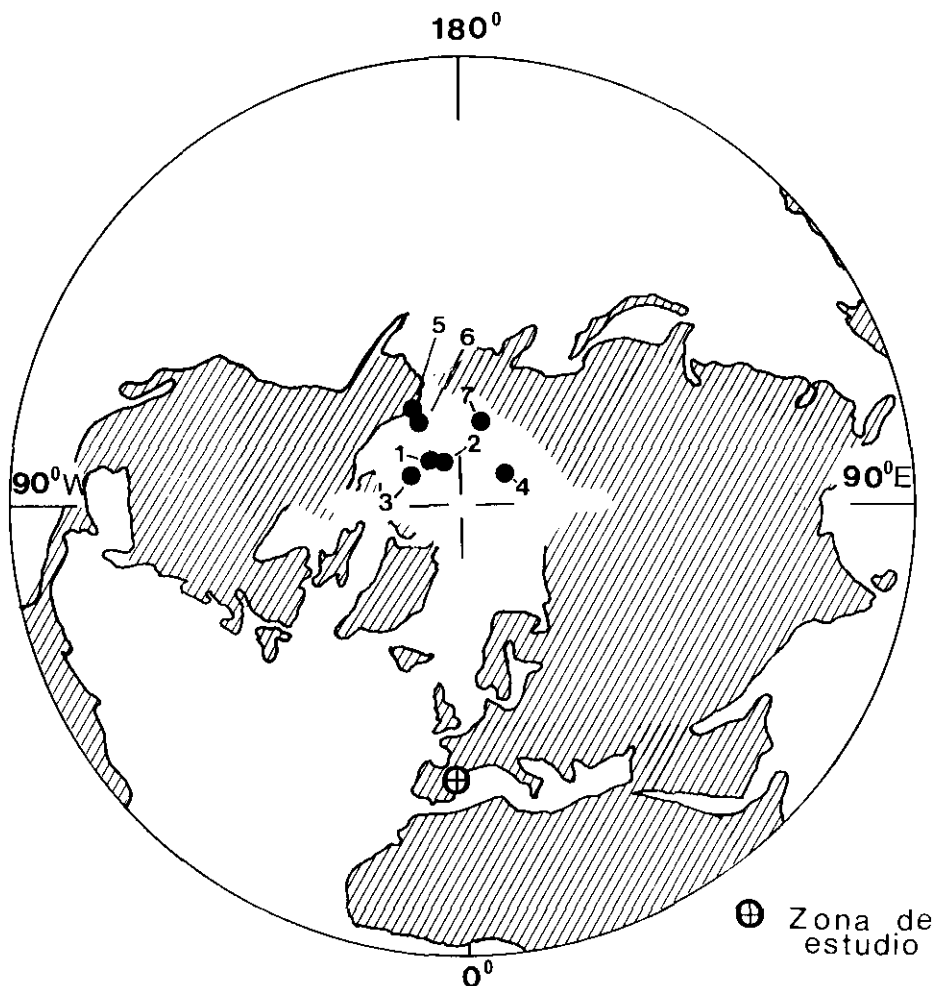


Fig. 5. Distribución en proyección polar de los PGV definidos en este trabajo a partir de materiales volcánicos de La Garrotxa y el Empordà, y de otros publicados para la Península Ibérica desde el Cretácico superior. Los números hacen referencia al orden en que los PGV están relacionados en el Cuadro III.

do a partir de los mismos materiales— y al Mioceno superior. Estos polos mejoran la precisión de la CDP de la Península Ibérica que contaba con un solo polo (Cuaternario) publicado para el tramo correspondiente al Cenozoico.

3. Aunque no se observan diferencias en Latitud entre los polos correspondientes al Mioceno superior, Plioceno y Cuaternario, sí aparecen variaciones apreciables en Longitud, equivalente al menos a 10 grados por

CUADRO III

Relación de los polos determinados para el Cuaternario de La Garrotxa y el Mioceno superior en el Empordà (*) y de los publicados para el Terciario superior (**) de la Península Ibérica.

Localidad ¹	Situación	N _s /(N _m)	Edad (m.a.)	Longitud	Latitud
1 La Garrotxa*	42°10'N	2(14)	0.7	80.2N	214.9E
2 Gerona**			Cuaternario	81.0N	204.0E
3 Laina***			Plioceno (3.4)	79.5N	259.0E
4 El Empordà*	42°10'N 3.00'N	4(37)	Mioceno sup. (10.6)	79.9N	133.9E
5 Lisboa**			Cretácico sup.	69.0N	207.0E
6 Lisboa**			Cretácico sup.	72.0N	196.0E
7 Monchique**			Cretácico sup.	73.0N	166.0E

¹ Localización de los polos en la figura 4. (*) Este trabajo. (**) Polos publicados en McElhinny (1973), asignados al Eoceno (5) Eoceno (6) y Paleoceno (7) respectivamente. En un trabajo posterior (Macintyre y Berger, 1982) se da a estos materiales una edad Cretácico superior.

millón de años. El estudio de La Selva, de edad intermedia entre La Garrotxa y Empordà, permitirá comprobar si las diferencias en Longitud encontradas son consistentes, en cuyo caso podrían detectarse diferencias en edad significativas en el período que abarca todo el Mioceno superior y el Cuaternario por medio del paleomagnetismo.

4. Se aprecian diferencias en Latitud de al menos 7 grados entre los polos del Mioceno superior-Cuaternario y los correspondientes al Cretácico superior.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido realizado dentro del Proyecto de la CAYCIT «El Volcanismo Neógeno-Cuaternario del Borde Mediterráneo Peninsular.»

REFERENCIAS

- ARAÑA, V.; APARICIO, A; MARTIN-ESCORZA, C.; GARCIA CACHO, L.; ORTIZ, R.; VAQUER, R.; BARBERI, F.; FERRARA, G.; ALBERT, J., y GASSIOT, X. (1983). El volcanismo neógeno-cuaternario de Catalunya: Caracteres estructurales, petrológicos y geodinámicos. *Acta Geol. Hispánica*, 18, 1-17.
- CALDERON, S. (1906). Memoria sobre las formaciones volcánicas de la provincia de Gerona. Parte general. *Mem. R. Soc. Española Hist. Nat.*, 4, 183-288.
- CAZURRO, M. (1906). Memoria sobre las formaciones volcánicas de la provincia de Gerona. *Mem. R. Soc. Española Hist. Nat.*, 4 288-408.
- CHEVALIER, M. (1914). Note preliminaire sur la géologie de la Catalogne orientale. *Bull. Soc. Geol. France*, 14, 157-178.

- CHEVALIER, M. (1928) Contribution a l'etude du volcanisme en Catalogne. C.R. XIV Congr. Geol. Intern., 4, 1453-1493.
- DONVILLE, B. (1973a). Ages potassium-argon des vulcanites du Haut-Ampurdan (Nord-Est de l'Espagne): Implications stratigraphiques. C.R. Acad. Sci. Paris 276, 2497-2500.
- DONVILLE, B. (1973b). Ages potassium-argon des vulcanites du Bas Ampurdan. (NE de l'Espagne). C.R. Acad. Sci. Paris 276, 3253-3256.
- DONVILLE, B. (1973c). Ages potassium-argon des roches volcaniques de la depression de La Selva (Nord-Est de l'Espagne). C.R. Acad. Sci. Paris, 277, 1-4.
- FISHER, R. A. (1953). Dispersion on a sphere. Proc. Roy. Soc. London, A217, 295-305 (28, 78, 79).
- GUARDIA (1964). Volcans Tertiaries et Quaternaires de la province de Gerona et paleomagnetism de leurs coulées. Rev. Geogr. Phys. Dyn., 6, 201-210.
- LOPEZ RUIZ, J. y RODRIGUEZ BADIOLA, E. (1985). La región volcánica miopliocena del NE de España. Estudios Geol., 41, 105-126.
- McELHINNY, M. W. (1973). Paleomagnetism and Plate Tectonics. Cambridge University Press, p. 358.
- MACINTYRE and BERGER. (1982). A note on the geochronology of the Iberian Alkaline Province. Lithos, 15, 133-136.
- SAN MIGUEL DE LA CAMARA, M. y MARCET RIVA, J. (1926). La Región Volcánica de Olot, XIV Congr. Geol. Intern. Exc. C-4, 39-64 y 140-216.
- SOLE SABARIS, L. (1962). Observaciones sobre la edad del volcanismo gerundense. Mem. R. Acad. Cienc. y Artes de Barcelona, 34, 359-372.
- SOLE SUGRAÑES, L. (1978). Alincaciones y fracturas en el sistema catalán según las imágenes Landsat-1. Tecniterrae, 22: 6-16.
- ZIJDERVELD, J. D. A. (1967). A.C. demagnetization of rocks: analysis of results. in *Methods in Palaeomagnetism* (eds D. W. Collinson, K. M. Creer and S. K. Runcorn), Elsevier.

Recibido 20 enero 1988.

Aceptado 24 mayo 1988.