

TEMPERATURA DE EMPLAZAMIENTO DE LAS IGNIMBRITAS ROQUE NUBLO (GRAN CANARIA, ISLAS CANARIAS) MEDIANTE TÉCNICAS PALEOMAGNETICAS

F. J. Pérez Torrado *, V. Soler **, J. C. Carracedo ** y J. Mangas *

RESUMEN

En Gran Canaria, el Cielo II o Roque Nublo, de edad Pliocena, se caracteriza por la construcción de un estratovolcán que pudo alcanzar al menos 2.500 m de altura. Entre los materiales emitidos por este edificio volcánico destacan unos depósitos piroclásticos de aspecto brechoide, generalmente conocidos como «aglomerados o brechas Roque Nublo». Aunque la mayoría de los autores que han estudiado estos depósitos han coincidido en asociarlos a coladas piroclásticas (por consiguiente, son depósitos ignimbríticos), no se conocían bien sus mecanismos de emisión, transporte y depósito. En este trabajo se ha podido caracterizar, con el auxilio de técnicas paleomagnéticas, la evolución y temperatura de depósito de estos materiales. En conjunto, las ignimbritas Roque Nublo se depositaron a temperaturas inferiores a los 300 °C, lo que permitió que el vapor de agua que incorporaban pasara muy rápidamente a fase líquida, alterando la fracción vítrea cinerítica y neofормando zeolitas. El brusco enfriamiento sufrido por estas ignimbritas desde el momento de su emisión hasta su depósito se puede explicar en función de la gran cantidad de líticos que incorporan y de los procesos de interacción agua-magma que desencadenaron las erupciones en que se produjeron.

Palabras claves: *Características paleomagnéticas, temperaturas de depósito, ignimbritas Roque Nublo, Islas Canarias.*

ABSTRACT

The main characteristic of the Pliocene volcanic phase of Gran Canaria, the Cycle II or Roque Nublo, is the building of a central stratovolcano, probably reaching more than 2,500 m above sea level. Among the most relevant deposits associated to this volcanic edifice are the pyroclastic breccia-type deposits, generally known as «Roque Nublo agglomerates or breccias». These deposits have been generally interpreted as pyroclastic flows. However, their emission, transport and depositional mechanisms are hitherto poorly understood. In the present work, the analysis of the paleomagnetic characteristics of the lithic and juvenile fragments and the matrix of these pyroclastic deposits have provide some important constraints in their evolution and depositional temperatures. The Roque Nublo ignimbrites seem to have been deposited at temperatures below 300 °C. In such circumstances, hot water originated by the condensation of interstitial water vapor reacted with the cineritic glass fraction, giving place to zeolite neomineralizations. The relatively fast cooling experimented by the ignimbrites after their emission, as deduced from the paleomagnetic analysis, can be explained by the high proportion of lithics and the interaction of water as an important factor in the triggering of the eruptions in which the ignimbrites were originated.

Key words: *Paleomagnetic characteristics, depositional temperatures, Roque Nublo ignimbrites, Canary Islands.*

* Departamento de Física-Geología. Facultad de Ciencias del Mar. ULPGC. Apartado n.º 550. 35080 Las Palmas de Gran Canaria.
** Estación Volcanológica de Canarias. Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC). Antigua Carretera de la Esperanza, 3. 38080 La Laguna, Tenerife.

Introducción

Los depósitos volcánicos de aspecto brechoide, mal clasificados, se asocian muy comúnmente a la construcción de edificios estratovolcánicos. Estos depósitos pueden tener génesis muy diferentes: coladas piroclásticas, lahares, avalanchas gravitacionales, etc. En ocasiones resulta casi imposible distinguir entre los diferentes procesos que los originan, atendiendo únicamente a criterios basados en sus características estratigráficas. Sin embargo, la posibilidad de conocer la temperatura de emplazamiento de estos materiales mediante técnicas basadas en el análisis de sus características paleomagnéticas refuerza los criterios estratigráficos mencionados, pudiendo conducir a una diferenciación clara entre los mismos.

Los primeros intentos de dilucidar la temperatura de depósito de materiales fragmentarios mediante la aplicación de técnicas paleomagnéticas, se basaron en el análisis diferenciado de la remanencia magnética natural (RMN) de los elementos constitutivos de estos depósitos. Este análisis permite en circunstancias favorables discriminar entre depósitos emplazados a una temperatura por encima o por debajo de la temperatura de bloqueo (T_b), que es función de la temperatura de Curie (T_c) de los distintos minerales ferromagnesianos contenidos en la muestra. En los materiales depositados a temperaturas por encima de T_b , la RMN —en este caso remanencia magnética término o RMT— presentaría direcciones sensiblemente paralelas. En los depósitos emplazados a temperaturas inferiores a la de bloqueo, la orientación de la RMN tendría una distribución al azar. La aplicación de este criterio simple permitió a Aramaki y Akimoto (1957) diferenciar depósitos producidos por coladas piroclásticas emitidas a elevadas temperaturas («nuées ardentes» en la terminología de la época, con temperaturas de depósito por encima de los 400-550 °C según estos autores), de otros originados en procesos epiclásticos tales como coladas de barro o cantos (mud flows, debris flows). Esta misma metodología fue posteriormente utilizada por Chadwick (1971), para distinguir autobrechas (originadas en la autobrechificación de coladas lávicas, domos, etc.) de brechas epiclásticas (originadas a partir de materiales ya enfriados) y por Wright (1978), para diferenciar ignimbritas, con temperaturas de depósito por encima de los 500 °C, de coladas de barro (mud flows).

Por debajo de la temperatura de bloqueo es posible aplicar el concepto de remanencia magnética térmica parcial (RMTP) para intentar evaluar temperaturas concretas de los depósitos. Un material volcánico compuesto de distintos fragmentos de roca puede presentar tres escenarios posibles en función de que su emplazamiento sea a temperatura superior a

la de bloqueo (adquiriendo una remanencia magnética térmica), a temperatura ambiente (sin llegar a adquirir una RMT), o a temperatura por debajo de su máxima temperatura de bloqueo, pero por encima de la temperatura ambiente. Si todos los fragmentos que integran la roca se encuentran en la primera situación, la orientación de la RMT en todos ellos será uniforme, y por tanto la máxima T_b de un fragmento determinado marcará la temperatura mínima a la que dicho fragmento se depositó. Por contra, si todos los fragmentos se depositaron bajo la segunda situación, la RMT de cada uno de ellos será la que tuvieron en origen, antes del depósito y en éste presentarán orientaciones al azar debido a los giros y traslaciones aleatorias que sufrieron durante el proceso de transporte previo al emplazamiento. Finalmente, en la tercera situación los diferentes fragmentos tendrán dos componentes vectoriales de su RMTP, uno de alta temperatura, de carácter primario, adquirido al formarse la roca y que en el transporte se orienta al azar al no alcanzarse posteriormente suficiente temperatura para su eliminación, y otro secundario de baja temperatura adquirido en el depósito final y que da lugar a una orientación uniforme para todos los fragmentos. El análisis de la RMTP como método de estimación de temperaturas de depósito ha sido utilizado, entre otros autores, por Hoblitt y Kellogg (1979) y Hoblitt *et al.* (1985) en diversos materiales localizados en los flancos del estratovolcán Mount St. Helens, donde se obtuvo una temperatura de depósito de 375 ± 25 °C. Temperaturas del orden de 400 °C fueron halladas por Kent *et al.* (1981) en un flujo piroclástico del Vesubio (Italia) y por Downey y Tarling (1991) en depósitos piroclásticos cuaternarios de Thera (Grecia). Recientemente, Clement *et al.* (1993) calculan mediante este método una temperatura de depósito de 350 °C para una formación de «debris avalanche» del Nevado del Colima (México).

Desgraciadamente, el método basado en la RMTP no siempre es aplicable directamente, ya que la información que puede extraerse está condicionada por las diferentes T_b del material objeto de estudio. Así, por ejemplo, si en dicho espectro predominan las componentes de altas temperaturas, será muy difícil obtener información de las condiciones de depósito a más bajas temperaturas. Otra dificultad que suele presentarse en la aplicación de este método es debida a la existencia de magnetizaciones secundarias sin o post-deposicionales, generalmente de carácter químico, y que resultan difíciles de diferenciar de la RMT o RMTP originales (Kent *et al.*, 1981; McClelland y Brown, 1982; McClelland y Druitt, 1989). Zlotnicki *et al.* (1984) han propuesto una metodología alternativa de estimación de temperaturas de depósito de los materiales piroclásticos basada en la

comparación de las características de sus RMN y RMT correspondientes.

En este trabajo se pretende establecer el comportamiento térmico de las ignimbritas Roque Nublo (IRN) y su evolución desde sus facies proximales a las distales. Para ello se realizaron, por un lado el estudio de los moldes vegetales que aparecen ampliamente distribuidos en muchos de sus depósitos y por otro sus características paleomagnéticas.

Características geológicas de las ignimbritas Roque Nublo

El Ciclo Roque Nublo, de edad Pliocena (5,5 a 2,7 Ma), representa el segundo ciclo de actividad magmática en la isla de Gran Canaria. A lo largo del mismo, se desarrolló un estratovolcán que llegó a alcanzar una altura de al menos 2.500 m, distribuyendo sus materiales sobre una amplia superficie, principalmente en los sectores O, N, NE y E de la isla (Anguita *et al.*, 1989, 1991; Pérez Torrado, 1992). Dentro de los materiales ligados a la formación de este edificio volcánico, destacan unos depósitos piroclásticos tradicionalmente conocidos como «aglomerados o brechas Roque Nublo», con las siguientes características principales:

a) Son depósitos compactos, heterométricos y heterogéneos, distinguiéndose en ellos cuatro fracciones bien diferenciadas: líticos (35-55 % en volumen), juveniles (15-30 %), cristales (5-7 %) y matriz cinerítica (20-30 %). Los fragmentos líticos presentan formas subangulosas a subredondeadas, tamaños desde unos pocos milímetros hasta algunos metros y naturaleza muy variable pero que en la mayoría de los casos se corresponden con lavas del propio Ciclo Roque Nublo. Los fragmentos juveniles son de color beige-ocre a gris, con formas subangulosas y tamaños normalmente inferiores a 20 cm (salvo en facies proximales donde se pueden localizar algunos de hasta 1 m). Al microscopio petrográfico muestran un grado de vesiculación moderado y un alto contenido en fenocristales. Mangas *et al.* (1993) han determinado, mediante un estudio de inclusiones vítreas, que la composición original del componente juvenil era fonolítica. Los cristales son principalmente clinopiroxenos, feldespatos, anfíboles y óxidos de Fe-Ti. Finalmente, la matriz cinerítica presenta coloración crema-beige a gris y constituye el armazón de estos depósitos.

b) Prácticamente todo el componente vítreo, tanto de la matriz como de los fragmentos juveniles, ha sido reemplazado por zeolitas (principalmente chabacita, phillipsita y, en menor medida, analcima), actuando como cemento y confiriéndole a estos depósitos su carácter compacto (Brey & Schmincke,

1980). Sin embargo, esta alteración zeolítica se circunscribe únicamente al componente vítreo, sin afectar a los cristales ni a los líticos, incluso cuando ambos presentan tamaños submilimétricos.

c) La potencia de los depósitos varía desde los 10-60 m en las zonas centrales de la isla (facies proximales), hasta los 2-5 m en las costeras (facies distales), pero siempre mostrando morfologías lenticulares adaptadas a los paleobarrancos por los que circularon. El número de depósitos también sufre una variación desde facies proximales a distales. Así, en facies proximales se llegan a localizar hasta más de 10 potentes depósitos, en facies medias no pasan de 5 y en las distales aumenta el número de nuevo hasta 10.

d) Tienen bases planas, sin evidencias de cicatrices erosivas incluso cuando se disponen encima de niveles cineríticos poco compactos. Es muy frecuente el desarrollo en ellas de un nivel de potencia centimétrica, grano fino y enriquecido en cristales y microlíticos. Respecto a sus techos, son planos a ligeramente ondulados, apareciendo en estas ocasiones a modo de estructuras tipo «hummocky».

e) Incluyen numerosos moldes de restos vegetales orientados en el sentido del flujo. Por el contrario, estructuras de tubos de desgasificación (pipes) son muy escasas, prácticamente limitadas a sus facies proximales y no se asocian con los moldes vegetales.

f) Las estructuras sedimentarias de orden interno son poco abundantes. La más común es la granoselección positiva en líticos, siendo menos frecuente la granoselección negativa en fragmentos juveniles.

Prácticamente todos los autores que han estudiado en mayor o menor detalle estos depósitos están de acuerdo en afirmar que son el resultado directo de erupciones volcánicas explosivas (Fúster *et al.*, 1968; Anguita, 1972, 1973; Brey y Schmincke, 1980). Pérez Torrado (1990, 1992) clasifica estos depósitos como ignimbritas no soldadas y ricas en líticos, denominándolas ignimbritas Roque Nublo (IRN). Estas IRN se formarían en erupciones vulcanianas-freatomagmáticas con colapso inmediato de la columna eruptiva, dando lugar a coladas piroclásticas densas, moderadamente fluidificadas, discurriendo a través de la red radial de paleobarrancos sin capacidad de rebosarlos y alcanzando en muchas ocasiones la línea de costa. Para este autor, en el propio proceso de transporte de estas coladas piroclásticas se daría el paso de ignimbritas a lahares, ocurriendo éstos en las áreas más distales cercanas a la costa y como un cambio lateral de facies de las ignimbritas.

Técnicas de campo y laboratorio

La primera toma de muestras se efectuó sobre los numerosos restos vegetales en los que se intentaba encontrar restos orgánicos

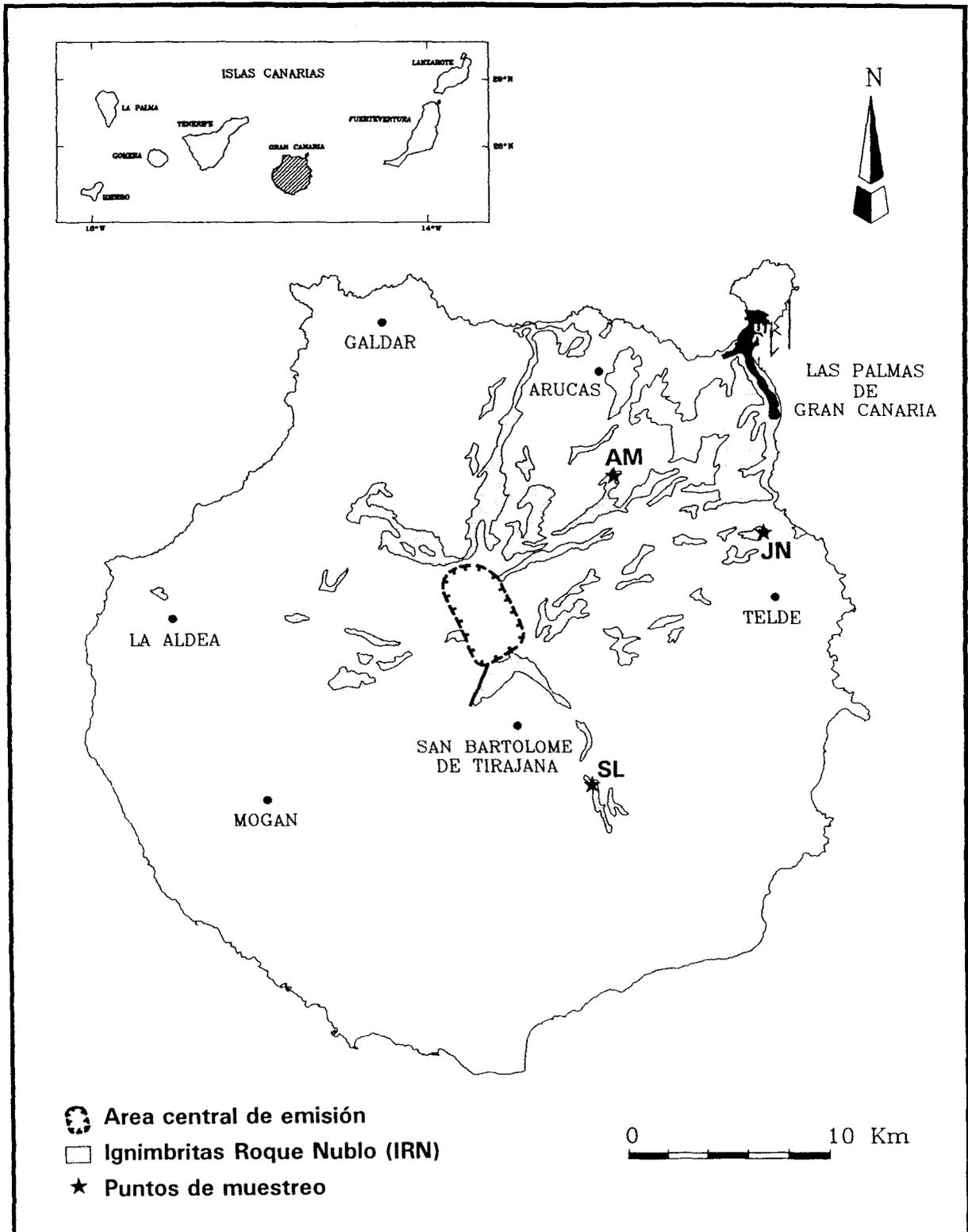


Fig. 1.—Distribución de las ignimbritas Roque Nublo en Gran Canaria (modificado de ITGE, 1992) y localización de los tres puntos de muestreo paleomagnético.

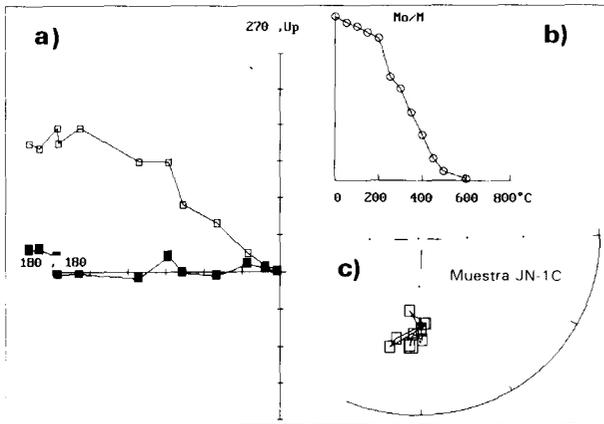


Fig. 2.—Diagramas de vectores ortogonales (a) y espectros de desmagnetización térmica (b) de una muestra representativa de las ignimbritas Roque Nublo. Los cambios de dirección durante cada paso de desmagnetización (c), de escasa entidad, indican la estabilidad magnética de estos materiales. No se observan remagnetizaciones secundarias o viscosas que podrían haberse adquirido con posterioridad al enfriamiento de este depósito.

carbonizados que pudieran aportar temperaturas de combustión de los mismos, tal como se ha realizado en otros depósitos (Maury, 1973). Los fragmentos recopilados fueron analizados en el Instituto Nacional del Carbón (CSIC) en Oviedo. Aunque en un principio se sospechó la presencia de inertinita (Pérez Torrado, 1990), el estudio posterior demostró que todos estos fragmentos presentaban un reemplazamiento total de la materia orgánica por carbonatos y óxidos e hidróxidos de Fe (M. A. Gómez, com. pers.), por lo que hubo de descartarse esta primera vía de estudio.

El muestreo paleomagnético se efectuó en los depósitos aflorantes en el Lomo de Jinamar (JN), en el Barranco de la Morena-San José del Alamo (AM) y en la carretera de Santa Lucía a Temisas (SL), es decir, situados en facies distales, medias y proximales, respectivamente (fig. 1). En todos los casos se tomaron las muestras mediante perforación con brocas de diamante, orientándose con brújula solar y magnética. En los afloramientos en que fue posible se tomaron muestras por separado de los tres componentes: matriz, líticos y juveniles, estos dos últimos para aquellos fragmentos con tamaños decimétricos.

Las determinaciones de laboratorio se centraron en el análisis detallado de la RMN de estos materiales mediante desmagnetizaciones en campos magnéticos alternos de hasta 50 mT, y térmicos hasta 600 °C en un horno Schonsted TSD-1 de campo magnético nulo. El tratamiento térmico progresivo a intervalos de 50 °C es el más adecuado para detectar la presencia de la RMTP. Durante la desmagnetización térmica se midió la susceptibilidad magnética de las muestras a cada paso de calentamiento, como medida complementaria para poner de manifiesto posibles alteraciones de sus minerales ferromagnesianos. Estas medidas de la susceptibilidad magnética fueron obtenidas utilizando un equipo Kappabridge KLY-2.

La intensidad de la RMN en las muestras de matriz de las ignimbritas del Roque Nublo es muy baja, casi un orden de magnitud inferior a las rocas volcánicas típicas de la isla como pueden ser los líticos englobados en estas ignimbritas (ver tabla 2). Se realizaron determinaciones de paleointensidad del campo geomagnético en varias muestras de ignimbrita, aplicando tanto el método de Thellier y Thellier (1959), con las modificaciones de Coe (1967a y b), como el introducido por Zlotnicki *et al.* (1984). Ambos métodos permiten efectuar un estudio comparativo de la RMN frente a la RMT adquirida en el laboratorio, y en este caso concreto poner de manifiesto si la RMN original es o no de carácter térmico.

Tabla 1.—Principales resultados paleomagnéticos obtenidos sobre muestras de la matriz en tres IRN.

Localidad	N	D	I	α_{95}	Lat.	Lon.
Lomo de Jinamar (JN)	6	182,4	-40,2	12,7	-84,4	321,0
Bco. de la Morena (AM)	6	190,8	-55,3	4,2	-78,0	211,3
Ctra. Santa Lucía-Temisas (SL)	4	195,5	-29,6	6,1	-71,3	291,3

N = Número de muestras estudiadas; D = Declinación media; I = Inclinación media; α_{95} = Radio del círculo de error que con una probabilidad del 95 % contiene la dirección verdadera; Lat. y Lon. = Latitud y longitud del polo virtual correspondiente.

Resultados paleomagnéticos

En general, salvo pequeñas componentes viscosas de muy baja temperatura, adquiridas posiblemente en el proceso de muestreo o de manipulación posterior, todas las muestras presentan un único componente paleomagnético con un comportamiento rectilíneo tal como se observa en los diagramas de vectores ortogonales (fig. 2). No se han observado diferencias en el comportamiento paleomagnético entre ignimbritas RN de las facies proximales (SL) y distales (JN).

En la tabla 1 se recogen las principales características paleomagnéticas de la matriz de las tres ignimbritas muestreadas. La proyección estereográfica de las direcciones de la remanencia magnética demuestra la polaridad negativa de las ignimbritas y el agrupamiento de las direcciones en torno a la dirección media de la remanencia magnética (fig. 3).

El estudio más detallado se realizó sobre la ignimbrita de facies proximal aflorante en la carretera de Santa Lucía a Temisas. El excelente afloramiento proporcionado por los cortes de esta carretera facilitan la observación de este depósito, donde pueden encontrarse bloques juveniles de hasta 1 m de tamaño, algunos de ellos muy poco afectados por el proceso de zeolitización. El análisis de numerosas muestras de cada uno de los componentes (matriz, líticos y juveniles) de esta ignimbrita, puso de manifiesto un comportamiento diferenciado de los fragmentos líticos respecto al de la matriz y los fragmentos juveniles (fig. 4).

Los fragmentos líticos presentan una marcada dispersión de las direcciones de la RMT, muy similares a las que cabría esperar de una orientación aleatoria, propia como hemos apuntado anteriormente del transporte a baja temperatura de cantos con una remanencia originaria de alta temperatura. En efecto,

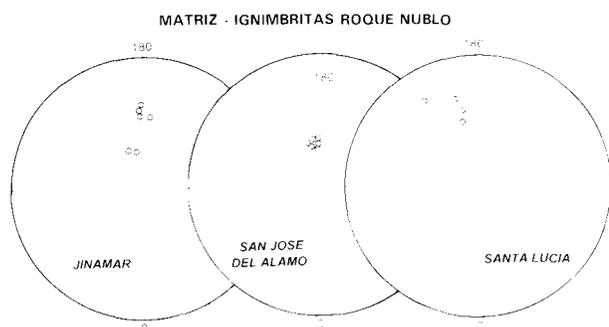


Fig. 3.—Proyección estereográfica de los datos paleomagnéticos de las muestras de matriz de las tres ignimbritas estudiadas. Obsérvese sus claras polaridades negativas, así como sus buenos agrupamientos.

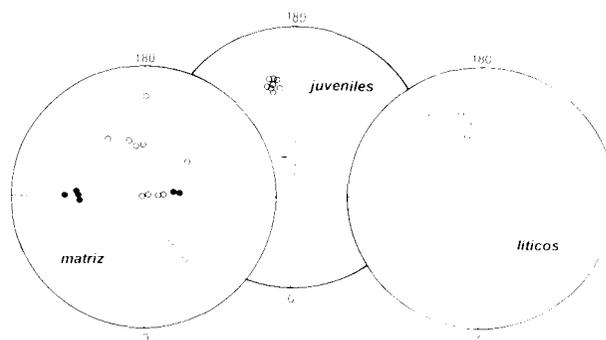


Fig. 4.—Proyección estereográfica de los datos paleomagnéticos de las muestras de matriz, juveniles y líticos tomadas en la ignimbrita que aflora en la carretera de Santa Lucía a Temisas (SL). Los líticos (A) presentan una clara distribución aleatoria en contraste con el agrupamiento que exhiben los juveniles (B) y la matriz (C).

la desmagnetización escalonada de estas muestras evidenció la presencia en todos los casos de un único componente magnético, con temperaturas medias de bloqueo comprendidas entre los 300 y 400 °C (ver fig. 2). Todo ello pone de manifiesto que dichos líticos adquirieron su RMT en el momento de su formación, siendo posteriormente incorporados al conjunto de la ignimbrita sin que alcanzaran, en el interior de éstas, una temperatura suficientemente elevada para adquirir un componente magnético secundario detectable.

Los fragmentos juveniles, por el contrario, presentan orientaciones de sus RMT agrupadas, lo cual indica que fueron adquiridas en el momento del depósito. Además, estos materiales poseen siempre una clara polaridad negativa, con direcciones que coinciden relativamente bien con las exhibidas por las muestras de matriz. Finalmente, las muestras de matriz presentan una baja intensidad de la RMN y un agrupamiento significativo de las direcciones de la remanencia magnética, aunque con una mayor dispersión que en los fragmentos juveniles, hecho atribuible a la presencia de microlíticos en ella.

Como se puede apreciar en la tabla 2, la intensidad de la RMN en la matriz de estas ignimbritas parece sugerir más una remanencia magnética adquirida en un proceso sin o post-deposicional que una verdadera RMT, que presentaría una intensidad muy superior. Sin embargo, en los fragmentos líticos y en algunos juveniles seleccionados por su tamaño y apariencia poco alterada no ocurre lo mismo, ya que la RMN presentan en este caso el carácter típico de una verdadera remanencia magnética térmica, es decir, de alta temperatura. En la figura 5 se representa la relación RMN vs. la RMT adquirida en el laboratorio en un campo de intensidad igual al actual (0,04 mT); el comportamiento de la matriz, típico de baja temperatura, contrasta claramente con el de los fragmentos líticos y juveniles.

Este comportamiento propio de «baja temperatura» de las muestras de matriz, unido a su avanzado estado de alteración, podría explicarse si este componente magnético estuviese relacionado con un proceso de zeolitización, en cuyo caso estaríamos en presencia de una remanencia magnética de tipo químico (RMQ). Ahora bien, aunque esa RMQ pudo borrar por completo la presumible RMT original del componente vítreo inicial de la matriz, resulta más difícil aceptar que también eliminara totalmente la RMT del conjunto de la matriz, aunque fuese una RMTP. Los abundantes líticos milimétricos incorporados en ella no están afectados por la zeolitización y dada su gran abundancia deberían originar, si se hubiesen depositado por encima de la T_c , una RMT que predominaría sobre la remanencia química postdeposicional, de intensidad muy inferior.

En las determinaciones de paleointensidad sobre muestras de matriz, se obtienen diagramas con un comportamiento errático y, en el mejor de los casos, con valores que corresponderían a una intensidad del campo geomagnético terrestre (CGT) decenas de veces inferior al actual. Puesto que este extremo no ha sido constatado hasta ahora para una época de polaridad estable (campo no transicional), esta circunstancia parece indicar que, desde el punto de vista de la RMN, la matriz de estas brechas tiene un comportamiento que apunta más a un material de origen sedimentario que volcánico. Por otra parte, las variaciones de la susceptibilidad magnética en las muestras de matriz son pequeñas durante el proceso de calentamiento en el laboratorio, lo que sugiere que el aumento notable de intensidad que se produce al inducir una termoremanencia artificial se deba más a la reorientación de los ferromagnesianos existentes que a la creación de nuevas fases minerales. Esta estabilidad de la susceptibilidad magnética era presu-

Tabla 2.—Comparación de la intensidad inicial de la remanencia magnética natural (RMN) de algunas muestras, con la intensidad de la remanencia magnética térmica (RMT) adquirida al calentar esas muestras a 600 °C y dejadas enfriar en el campo geomagnético actual.

Muestras	RMN (A/m)	RMT (A/m)	RMT/RMN	Observaciones
AM-6a	0,39	5,22	13,28	Matriz
AM-10a	0,57	6,81	11,94	Matriz
SL-9	0,76	9,19	12,10	Matriz
SL-2b	0,40	5,54	13,95	Matriz
JN-1c	0,55	5,40	9,83	Matriz
JN-6	0,78	8,26	10,59	Matriz
SL-4b	1,81	1,95	1,08	Lítico
SL-8d	2,09	4,91	2,34	Lítico
SL-5c	2,15	3,94	1,83	Lítico
SL-7a	1,42	2,64	1,86	Juvenil
SL-10c	1,09	1,83	1,67	Juvenil
SL-6	1,26	3,62	2,82	Juvenil

Obsérvese que la relación RMT/RMN para las muestras de matriz es muy superior a la presentada por los fragmentos líticos y juveniles (tomados estos últimos en facies proximales, poco afectados por la alteración zeolítica y con tamaños decimétricos).

mible dado el estado de oxidación que presentan al microscopio petrográfico los minerales ferromagnesianos de estas ignimbritas Roque Nublo.

Modelo paleomagnético

El análisis de los resultados paleomagnéticos obtenidos permite establecer restricciones en las condiciones de depósito de las ignimbritas Roque Nublo, entre las que destacamos las siguientes:

1. La matriz de las IRN muestra una remanencia magnética de carácter químico de baja intensidad, adquirida posiblemente durante el proceso de zeolitización que experimentan estos materiales una vez depositados. Esta remanencia magnética química tiene una polaridad claramente negativa.
2. Los fragmentos líticos englobados presentan la RMT original del momento de su formación, antes de que la roca original fuera fragmentada y transportada. La baja temperatura asociada al transporte explica la ausencia de una RMTP secundaria en el proceso de incorporación de estos líticos a las IRN. La orientación aleatoria de los vectores de la remanencia magnética son consecuencia de la propia orientación aleatoria de los fragmentos en el transporte.
3. Los fragmentos juveniles de gran tamaño, poco zeolitizados y localizados exclusivamente en facies proximales, fueron depositados en condiciones

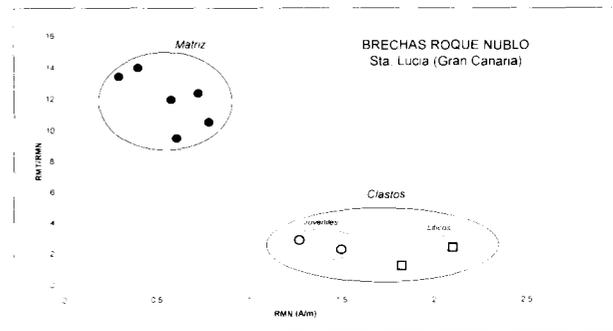


Fig. 5.—Comparación para los distintos componentes de la remanencia magnética natural (RMN) y la térmica (RMT) adquirida en el laboratorio al calentar las muestras a 600 °C y dejándolas enfriar en un campo de intensidad igual al actual (0,04 mT). Se evidencia así la clara distinción entre la matriz «fría» y los líticos y juveniles «calientes».

de altas temperaturas, por encima de sus T_c . Las direcciones de la magnetización térmica de estos juveniles coinciden en términos generales con las de carácter químico de la matriz, lo que parece indicar una posible contemporaneidad en la adquisición de ambas remanencias. En cambio, los fragmentos juveniles de menor tamaño muestran un estado de alteración zeolítica y un comportamiento paleomagnético equiparable al de la matriz.

4. Los datos paleomagnéticos apoyan el emplazamiento de las IRN a temperaturas relativamente bajas, posiblemente inferiores a los 300 °C. No obstante, los fragmentos juveniles de tamaño decimétrico y localizados en facies proximales, pudieron depositarse a temperaturas por encima de la T_c de sus diferentes minerales ferromagnesianos (alrededor de 450-500 °C).

Implicaciones en el modelo genético de las ignimbritas Roque Nublo

El mecanismo genético propuesto por Pérez Torrado (1990, 1992) de erupciones explosivas con colapso inmediato de la columna eruptiva es propicio para la conservación de altas temperaturas en las coladas piroclásticas durante su movimiento. La inhibición de una columna vertical evita el intercambio efectivo de la mezcla eruptiva con el aire atmosférico y por tanto su enfriamiento previo al colapso y a la formación del flujo (Sparks *et. al.*, 1978; Fisher y Schmincke, 1984; Cas y Wright, 1987). Sin embargo, la total ausencia en estas IRN de texturas de soldaje entre sus componentes juveniles, incluso en depósitos de gran potencia, así como las conclusiones que del estudio de sus características paleomagnéticas se han deriva-

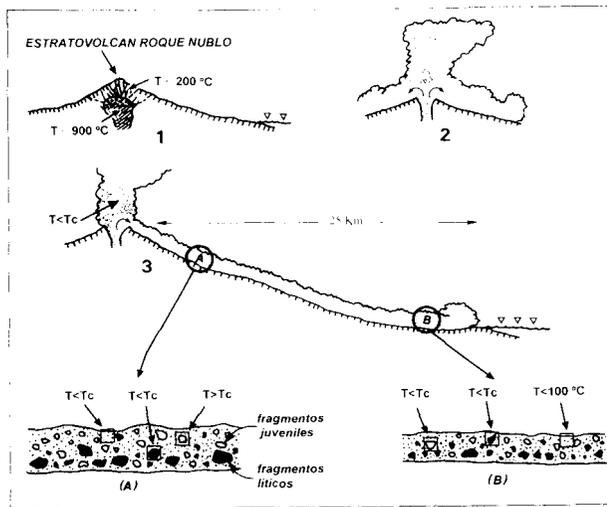


Fig. 6.—Evolución de la temperatura de las coladas piroclásticas formadoras de IRN. En las condiciones iniciales (1) se supone un magma fonolítico y en avanzado estado de cristalización con una $T < 900\text{ }^{\circ}\text{C}$, y una roca de caja (que es la fuente de los líticos que incorpora en la explosión) a $T < 200\text{ }^{\circ}\text{C}$. Se desencadena la erupción en forma de colapso instantáneo de la columna eruptiva originando coladas piroclásticas que discurren a favor de los flancos del estratovolcán (2). La mezcla eruptiva en su conjunto parte ya con una $T < T_c$. A lo largo de su movimiento, las coladas piroclásticas presentan variaciones en sus temperaturas desde facies proximales a distales (3). En las facies proximales (A), existen fragmentos juveniles con $T > T_c$. En las facies distales (B), los fragmentos juveniles pueden llegar con una $T < T_c$ y el conjunto de la colada piroclástica puede estar a $T < 100\text{ }^{\circ}\text{C}$, es decir, por debajo del punto de condensación del vapor de agua.

do, ponen de manifiesto el comportamiento «de baja temperatura» para el conjunto de estos depósitos. Por tanto, parece existir a priori una contradicción entre ambos hechos. Los principales argumentos que pueden emplearse para la explicación de estas bajas temperaturas son:

1. Presencia de un magma fonolítico con una temperatura inicial relativamente baja en comparación con los magmas basálticos, debido a su grado de diferenciación y a su avanzado estado de cristalización (Walker, 1983).
2. Erupciones hidromagmáticas. Varios autores (e.g., Shepherd y Sigurdsson, 1982; Walker, 1983) han puesto de manifiesto la importante reducción de la temperatura que sufren las mezclas eruptivas originadas en estos tipos de erupciones.
3. Ingestión de agua de las coladas piroclásticas al circular por los cauces de los paleobarrancos (Walker, 1983; Cas y Wright, 1991).
4. Abundancia de líticos en los depósitos. Eichelberger y Koch (1979) sugirieron que una carga igual o superior al 10 % en peso de líticos era suficiente para inhibir la soldadura del depósito. Martí *et al.*

(1991) desarrollaron un cálculo teórico para la evaluación del efecto que causan estos líticos en la temperatura de las coladas piroclásticas. Aplicando estos cálculos a las IRN, se pone de manifiesto que para una carga lítica del orden de magnitud que exhiben estos depósitos (35-55 %), la temperatura inicial del flujo descendería entre unos 275-350 °C en sus primeros 100 segundos de movimiento.

Teniendo en cuenta la superposición en mayor o menor grado de las cuatro condiciones enunciadas en la génesis, transporte y emplazamiento de las IRN, se explica satisfactoriamente su carácter de depósito «frío». Esta circunstancia y la abundante cantidad de vapor de agua que llevan estas coladas (la original en el proceso de la erupción más la añadida —ingerida— durante el transporte) puede explicar asimismo otras dos importantes restricciones en el escenario de emplazamiento de las IRN:

1. Paralelamente a la formación de estos depósitos, el vapor de agua existente entre las partículas vítreas comenzaba a condensarse, iniciándose los procesos de alteración del vidrio volcánico que desembocarían en la neoformación de los minerales zeolíticos.
2. El proceso de condensación del vapor de agua podía ocurrir incluso durante el propio flujo de las coladas, por lo que algunas de ellas podían tener ya una importante fase líquida intersticial al alcanzar las facies distales. Esto les haría cambiar su carácter y pasar a comportarse como lahares.

En la figura 6 se presenta de forma esquemática la posible secuencia de temperaturas de estas coladas a la luz de los datos paleomagnéticos y los procesos anteriormente descritos.

Agradecimientos

El presente trabajo ha sido financiado por los proyectos de investigación n.º 69-1989 y 22-1993 otorgados por la Dirección General de Universidades e Investigación, Consejería de Educación, Cultura y Deportes del Gobierno de Canarias. F.J. Pérez Torrado agradece a la Dra. María de los Angeles Gómez Borrego del Instituto Nacional del Carbón, C.S.I.C.-Oviedo, por su colaboración desinteresada en el estudio de los moldes vegetales de las IRN.

Referencias

- Anguita, F. (1972). La evolución magmática en el ciclo Roque Nublo (Gran Canaria). *Estudios Geol.*, 28, 377-482.
 — (1973). Genesis of Roque Nublo Formation: a Special Kind of Ignimbrite Eruption in Gran Canaria. *Bull. Volcanol.*, 37, 111-121.

- Anguita, F., García Cacho, L. y Araña, V. (1989). Field Trip to Gran Canaria (Roque Nublo Caldera). *ESF Meeting on Canarian volcanism*, Lanzarote. Guía de campo, 21 págs.
- Anguita, F., García Cacho, L., Colombo, F., González Camacho, A. y Vieira R. (1991). Roque Nublo Caldera: a new stratocone caldera in Gran Canaria, Canary Islands. *J. Volcanol. Geoth. Res.*, 47, 45-63.
- Aramaki, S. y Akimoto, S. (1957). Temperature estimation of pyroclastic deposits by natural remanent magnetism. *Amer. J. Sci.*, 255, 619-627.
- Brey, G. y Schmincke, H.U. (1980). Origin and diagenesis of the Roque Nublo Breccia, Gran Canaria (Canary Islands) - Petrology of Roque Nublo Volcanics, II. *Bull. Volcanol.*, 43-1, 15-33.
- Cas, R.A.F. y Wright, J.V. (1987). *Volcanic sucesions. Modern and ancient*. Allen & Unwin, London. 528 págs.
- (1991). Subaqueous pyroclastic flows and ignimbrites: an assessment. *Bull. Volcanol.*, 53-5, 357-380.
- Chadwick, R.S. (1971). Paleomagnetic criteria for volcanic breccia emplacement. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 82, 2285-2294.
- Clement, B.M., Connor, Ch.B. y Grapper, G. (1993). Paleomagnetic estimate of the emplacement temperature of the long-runout Nevado de Colima volcanic debris avalanche deposit, Mexico. *Earth Planet. Sci. Letters*, 120, 497-507.
- Coe, R.S. (1967a). The determination of paleointensities of the Earth's magnetic field with emphasis on mechanisms which could cause non ideal behavior in Thelliers method. *J. Geomagn. Geoelec.*, 19, 157-179.
- (1967b). Paleointensity of the Earth's magnetic field determined from Tertiary and Quaternary rocks. *J. Geophys. Res.*, 72, 3247-3262.
- Downey, W.S. y Tarling, D.H. (1991). Reworking characteristics of Quaternary pyroclastics, Thera (Greece), determined using magnetic properties. *J. Volcanol. Geoth. Res.*, 46, 143-155.
- Eichelberger, J.C. y Koch, F.G. (1979). Lithic fragments in the Bandelier Tuff, Jemez Mountains, New Mexico. *J. Volcanol. Geoth. Res.*, 5, 115-134.
- Fisher, R.V. y Schmincke, H.U. (1984). *Pyroclastic rocks*. Springer-Verlag, Berlin. 472 págs.
- Fuster, J.M., Hernández Pacheco, A., Muñoz, M., Rodríguez Badiola, E. y García Cacho, L. (1968). *Geología y volcanología de las Islas Canarias. Gran Canaria*. Instituto Lucas Mallada, Madrid. 243 págs.
- Hoblitt, R.P. y Kellogg, K.S. (1979). Emplacement temperatures of unsorted and unstratified deposits of volcanic rock debris as determined by paleomagnetic techniques. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 90-1, 633-642.
- Hoblitt, R.P., Reynolds, R.L. y Larson, E.E. (1985). Suitability of nonwelded pyroclastic-flow deposits for studies of magnetic secular variation: a test based on deposits emplaced at Mount St. Helens, Washington, in 1980. *Geology*, 13, 242-245.
- ITGE (1992). Memoria y mapa geológico de España a escala 1:100.000: Gran Canaria (21-21/21-22). Proyecto MAGNA.
- Kent, D.V., Ninkovich, D., Pescatore, T. y Sparks, R.S.J. (1981). Palaeomagnetic determination of emplacement temperature of Versuvius AD 79 pyroclastic deposits. *Nature*, 290, 393-396.
- Mangas, J., Pérez Torrado, F.J., Massare, D. y Clocchiatti, R. (1993). Phonolithic origin of Roque Nublo ignimbrites of Gran Canaria (Canary Islands, Spain) from clinopyroxene melt inclusion studies. *Eur. J. Mineral.*, 5, 97-106.
- Marti, J., Díez-Gil, J.L. y Ortiz, R. (1991). Conduction model for the thermal influence of lithic clasts in mixtures of hot gases and ejecta. *J. Geoph. Res.*, 96, 21.879-21.885.
- Maury, R. (1973). La matière organique des bois fossiles, indicatrice des conditions thermiques de mise en place des brèches volcaniques. *C. R. Acad. Sci. Paris*, 276-D, 917-920.
- McClelland-Brown, E. (1982). Discrimination of TRM and CRM by blocking-temperature spectrum analysis. *Phys. Earth Planet. Interiors*, 30, 405-414.
- McClelland, E.A. y Druitt, T.H. (1989). Palaeomagnetic estimates of emplacement temperatures of pyroclastic deposits on Santorini, Greece. *Bull. Volcanol.*, 51, 16-27.
- Pérez Torrado, F.J. (1990). Roque Nublo non-welded ignimbrite: a type of ignimbrite in Gran Canaria (Canary Islands, Spain). *IAVCE Intern. Volcanol. Congress*, Mainz (Alemania).
- (1992). *Volcanoestratigrafía del Grupo Roque Nublo (Gran Canaria)*. Tesis Doctoral, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, 510 págs.
- Shepherd, J.B. y Sigurdsson, H. (1982). Mechanism of the 1979 explosive eruption of Soufrière volcano, St. Vincent. *J. Volcanol. Geoth. Res.*, 13, 119-130.
- Sparks, R.S.J., Wilson, L. y Hulme, G. (1978). Theoretical modelling of the generation, movement and emplacement of pyroclastic flows by column collapse. *J. Geophys. Res.* 83, 1727-1739.
- Thellier, E. y Thellier, O. (1959). Sur l'intensité du champ magnétique terrestre dans le passé historique et géologique. *Ann. Geophys.*, 15, 285-376.
- Walker, G.P.L. (1983). Ignimbrite types and ignimbrite problems. *J. Volcanol. Geoth. Res.*, 17, 65-88.
- Wright, J.V. (1978). Remanent magnetism of poorly sorted deposits from the Minoan eruption of Santorini. *Bull. Volcanol.*, 41-2, 131-135.
- Zlotnicki, J., Pozzi, J.P., Boudon, G. y Moreau, M.G. (1984). A new method for the determination of the setting temperature of pyroclastic deposits (example of Guadeloupe: French West Indies). *J. Volcanol. Geoth. Res.*, 21, 297-312.

Recibido el 7 de febrero de 1994
Aceptado el 29 de abril de 1994