Edificios hidromagmáticos costeros de Tenerife (Islas Canarias)

J. DE LA NUEZ[1], J. J. ALONSO[2], M. L. QUESADA[1], M. D. MACAU[3]

[1] *Departamento de Edafología y Geología. Facultad de Biológicas. Univ. 38205 La Laguna. Tenerife.*
[2] *E.I.S. Añastro, 19. 28033 Madrid.*
[3] *Inspección Educativa de Enseñanza Media. Consejería de Educación de la Comunidad Autónoma Canaria. S/C de Tenerife.*

Resumen: Los aparatos hidromagmáticos costeros de la isla de Tenerife consisten en anillos de tobas de composición basáltica y traquibasáltica, salvo uno de ellos que es sálico, y se encuentran intercalados en la Serie Basáltica III-Serie Cañadas. Los edificios basálticos e intermedios evolucionan desde episodios con un alto contenido en agua ("wet-surge"), hasta episodios más secos de gran explosividad ("dry-surge"), y algunos acaban desarrollando facies estrombolianas cuando los conductos de emisión quedan completamente aislados del mar. El edificio hidromagmático sálico (Caldera del Rey) es de mayor explosividad y complicación, existiendo tres fases principales en su actividad: a) erupción básicamente pliniana con piroclastos de caída, b) actividad hidromagmática de alta explosividad con "surges" radiales, y c) erupción pliniana con colapso intermitente de columna que produce sucesivas intercalaciones de piroclastos de caída y "base surges".

Palabras clave: Erupción hidromagmática, base surge, Tenerife, Islas Canarias.

Abstract: The field, compositional and evolutive characteristics of hydromagmatic edifices in the southern coast of Tenerife indicate that they are basaltic and trachybasaltic tuff-rings and one of them is trachyphonolitic. They are included in the Basaltic Serie III -Cañadas Serie. Most of the basaltic and intermediate edifices evolved from wet-surge to dry-surge activities and some of them finished its evolution with a strombolian stage when their vents became completely isolated of the sea water. The differentiated hydromagmatic edifice (Caldera del Rey) is more explosive one, with three main eruptive stages: a) basically plinian eruption with major pyroclastic fall, b) largely explosive hydromagmatic activity producing radial surges and c) plinian eruption with repeated subsidence of the eruptive column, generating pyroclastic fall and base surge interbeddings.

Key words: Hydromagmatic eruption, base surge, Tenerife, Canary Islands.

De la Nuez, J., Alonso, J. J., Quesada, M. L., Macau, M. D. (1993): Edificios hidromagmáticos costeros de Tenerife (Islas Canarias). *Rev. Soc. Geol. España,* 6: 47-59

En la mayoría de las Islas Canarias existen ejemplos de fenómenos de interacción agua-magma (hidromagmatismo) en series volcánicas recientes (Carracedo, 1984; Quesada *et al.,* 1988; Martí y Colombo, 1990; Rodriguez *et al.,* 1989). Aunque hay importantes episodios hidromagmáticos en Tenerife relacionados con el edificio Cañadas (Alonso, 1989; Díaz, 1989; Martí *et al.,* 1989), es justamente en las zonas costeras del Sur de la isla donde aparecen los aparatos hidromagmáticos más característicos (Fig. 1) y cuyos centros de emisión están perfectamente conservados, habiendo sido ya estudiado alguno de ellos desde el punto de vista petrológico y geoquímico (Paradas y Fernández, 1984). Todos ellos pueden considerarse incluidos en la Serie Basáltica III-Serie Cañadas, con una edad que en cualquier caso debe ser menor de un millón de años, y que probablemente se sitúe entre los 0,67 y 0,13 Ma., según los datos de Ancochea *et al.* (1990) para los piroclastos sálicos del Sur de Tenerife, entre los que quedan intercalados estos edificios de carácter explosivo.

En la Fig. 1 se incluye también el volcán de Taco, cono de escorias y lapilli al NO de la isla, que ha sido interpretado por algunos autores (Araña *et al.,* 1986) como de carácter hidromagmático, aunque en nuestra opinión, se trata de un centro de emisión típicamente estromboliano (Alonso *et al.* 1992).

Todos los centros de emisión hidromagmáticos son de composición basáltica o traquibasáltica, excepto Caldera del Rey que es uno de los pocos centros eruptivos hidromagmáticos sálicos reconocidos en Tenerife y en el archipiélago canario, y que por su importancia y características está siendo estudiado en detalle por uno de nosotros (Macau, M.D.).

El estudio de estos edificios se ha abordado mediante un análisis cartográfico y estratigráfico de las distintas facies. Del muestreo obtenido se han realizado veinticinco análisis químicos de vidrios comagmáticos de los distintos edificios explosivos de Tenerife, mediante Espectrometría de Absorción Atómica. Además, para caracterizar las distintas fases minerales que aparecen en los mismos, se han efectuado catorce análisis por Microsonda Electrónica (modelo Camebax SX50) en el Departamento de Geología de la Universidad de Oviedo. Las características morfológicas se realizaron en un microscopio Phillips SEM 515 en el Dip. di Geologia de la Universidad de Pisa (Italia).

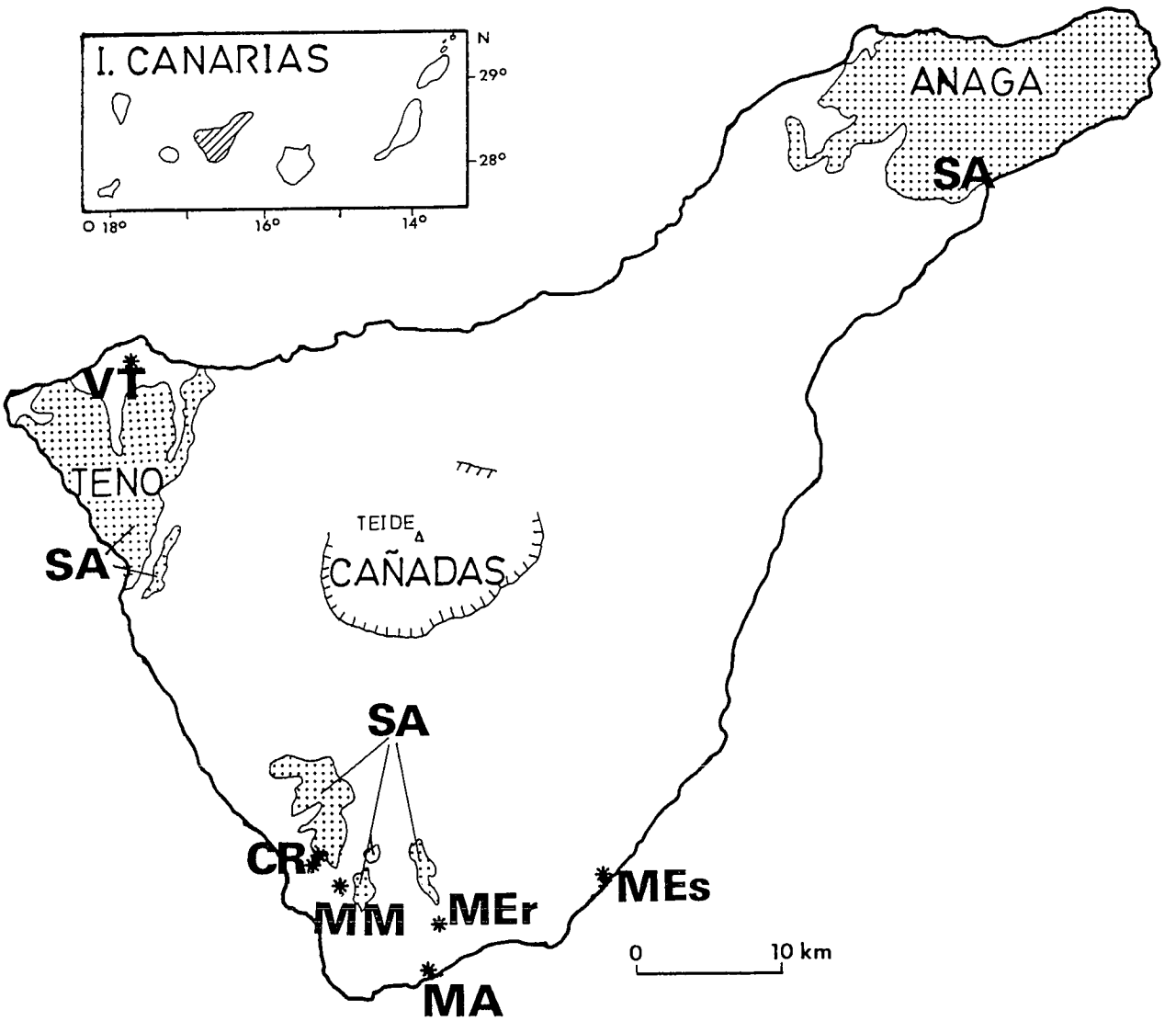


Fig. 1.– Situación de los edificios hidromagmáticos costeros de Tenerife. CR: Caldera del Rey. MA: Montaña Amarilla. MEr: Montaña de los Erales. MEs: Montaña Escachada. MM. Montaña del Mojón. VT: Volcán de Taco. SA: Serie Basáltica Antigua (punteado), resto Series Basálticas Recientes-Serie Cañadas.

Descripción e interpretación de los edificios

Caldera del Rey

Se trata de uno de los pocos centros de emisión hidromagmáticos sálicos hasta ahora reconocidos en el archipiélago. Paradas y Fernández (1984) realizan un estudio básicamente cartográfico, petrológico y geoquímico, y no conceden demasiada importancia a la caracterización de los depósitos piroclásticos desde el punto de vista vulcanológico. Está formado por dos anillos de tobas (Caldera del Rey I y II) (Fig. 2) siendo el más antiguo y menor el

Fig. 2.– Edificio hidromagmático doble de composición sálica (Caldera del Rey) visto desde el SO. En primer término el edificio I, en segundo término y destacando sus bordes el edificio II.

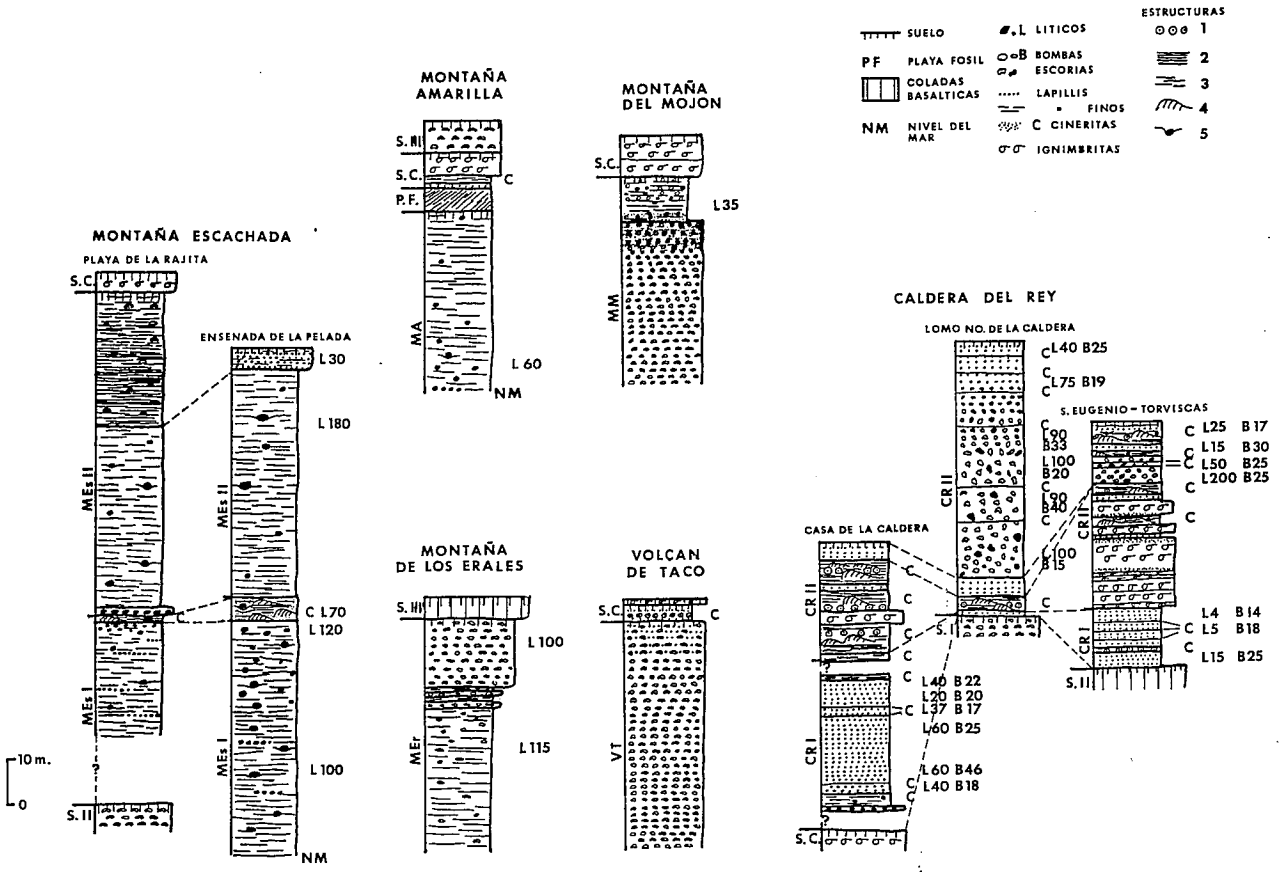


Fig. 3.– Columnas esquemáticas de los edificios hidromagmáticos costeros de Tenerife. SI: Serie Basáltica Antigua. SII: Serie Basáltica II. SC: Serie Cañadas. SIII: Serie Basáltica III. 1: Lapilli acrecionario. 2: Laminación paralela. 3: Laminación difusa. 4: Laminaciones cruzadas (dunas, antidunas,...). 5: Estructuras de impacto. Las demás abreviaturas como en Fig. 1

que está más cercano al mar, y el mayor y más reciente el más alejado del mismo. En este caso queda patente que la dirección preferente de la fractura que dió origen a la erupción (NNE-SSO) (N35E, según Paradas y Fernández, 1984) forma un ángulo casi perpendicular (70°) con la línea de costa, aunque se observan otras directrices asociadas (N120E) de un rumbo subparalelo a la costa.

El primer edificio (CR I) es predominantemente magmático, existiendo períodos hidromagmáticos con mayor fragmentación, al principio y al final de su desarrollo, pero subordinados en volumen a los materiales piroclásticos de caída tamaño lapilli (Fig. 3). En los primeros niveles alternan brechas de explosión con cineritas del tipo "wet-surge", para a continuación dar paso a unos 25 m de piroclastos de caída, que primeramente son muy homogéneos y llegan a contener vidrios obsidiánicos, además de pómez, y hacia el techo presentan cada vez con más frecuencia intercalaciones de cineritas entre 10 y 20 cm de espesor, siendo, en general, la media del tamaño de los pómez cada vez menor. En algunas zonas, estos piroclastos de caída se sueldan formando "aglutinados", que son los aglomerados de Paradas y Fernández (1984). La discordancia entre los materiales de CR I y CR II se pone perfectamente de manifiesto en la trinchera de la Casa de la Caldera (Paradas y Fernández, 1984), en otros casos no se observa tan fácilmente y hay que guiarse por niveles característicos de uno y otro edificio. En cualquier caso, no parece haber existido una apreciable interrupción en la actividad, puesto que no se llegó a formar ningún suelo entre ambos conjuntos.

El segundo edificio sálico explosivo (CR II) comienza al igual que el anterior con brechas de explosión intercaladas con piroclastos de caída y cineritas. A continuación tiene lugar el depósito de importantes niveles de cineritas de tipo "wet" y "dry surge" con algunas intercalaciones de piroclastos de caída y coladas piroclásticas, estando estas últimas mejor representadas en zonas más alejadas del centro eruptivo (columna San Eugenio-Torviscas) (Fig. 3). Las cineritas son de grano muy fino y con líticos y pómez muy escasos, presentan abundantes estructuras volcanosedimentarias típicas de estos edificios (Fisher y Waters, 1970; Schmincke *et al.*, 1973; Wohletz y Sheridan, 1979), como laminaciones paralelas, antidunas, "sandwaves", etc., además de lapilli acrecionario y "estructuras esferoidales" (Paradas y Fernández, 1984). La abundancia de laminaciones cruzadas indica que la fracción sólida existente en la erupción es muy baja, como corresponde a flujos muy diluidos (Sheridan y Updike, 1975). No se descarta que parte de las coladas piroclásticas incluidas en la columna CR II (Fig. 3) pertenezcan a episodios explosivos de la Serie Cañadas intercalados con los materiales de CR II, pues sus espesores son anormalmente grandes, llegando algunas a alcanzar casi 10 m.

Después de este importante episodio hidromagmático en CR II se desarrolla una nueva fase donde alternan depósitos magmáticos e hidromagmáticos, depositándose importantes espesores de piroclastos de caída gruesos, y en menor grado finos, que forman las paredes actuales del edificio CR II (columna NO Lomo de la Caldera), que-

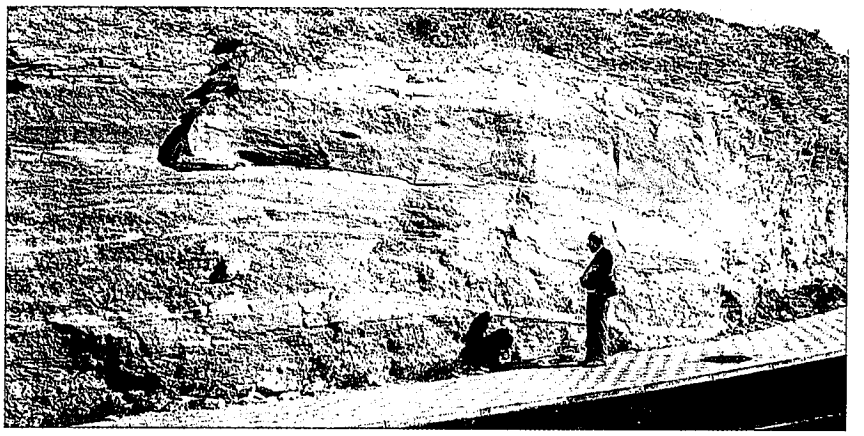


Fig. 4 –Alternancia entre depósitos de caída (más gruesos) y depósitos cineríticos de tipo surge (finos). Tramo final de la columna San Eugenio-Torviscas (Caldera del Rey), junto a la Urbanización Torviscas.

dando representados los materiales hidromagmáticos por gran cantidad de niveles cineríticos, que aquí presentan espesores mínimos debido a la fuerte pendiente formada mientras se construían los bordes del edificio. Se han llegado a distinguir más de 40 pulsos en la actividad eruptiva de este último tramo magmático-hidromagmático, observándose además una disminución general en el centil y la mediana de los pómez y los líticos hacia el techo. En la columna de San Eugenio-Torviscas este último episodio presenta proporcionalmente menos materiales magmáticos de caída, y se desarrollan importantes episodios de "surges", con abundantes estructuras sedimentarias (dunas, antidunas, laminaciones paralelas, bombas de caída,...) que van siendo más importantes hacia el techo (Fig. 4).

Composición. Al microscopio existe muy poca variación en el pómez (vidrios) de los distintos niveles de ambas calderas. En general, presenta muy pocos fenocristales de feldespato alcalino (anortoclasa), augita egirínica, biotita, anfíbol y minerales opacos, en una matriz microcristalina, e incluso vítrea, rica en microlitos de feldespatos y con opacos. La proyección de los análisis efectuados por nosotros en pómez, obsidianas y aglutinados de Caldera del Rey en el diagrama T.A.S. (Fig. 5) (se incluyen los cinco análisis de pómez de Paradas y Fernández, 1984), indica que hay un quimismo similar para las dos calderas, que en CR I varía desde términos fonolíticos, que son los estratigráficamente más bajos, hasta términos traquíticos, más altos en la serie; de manera parecida ocurre

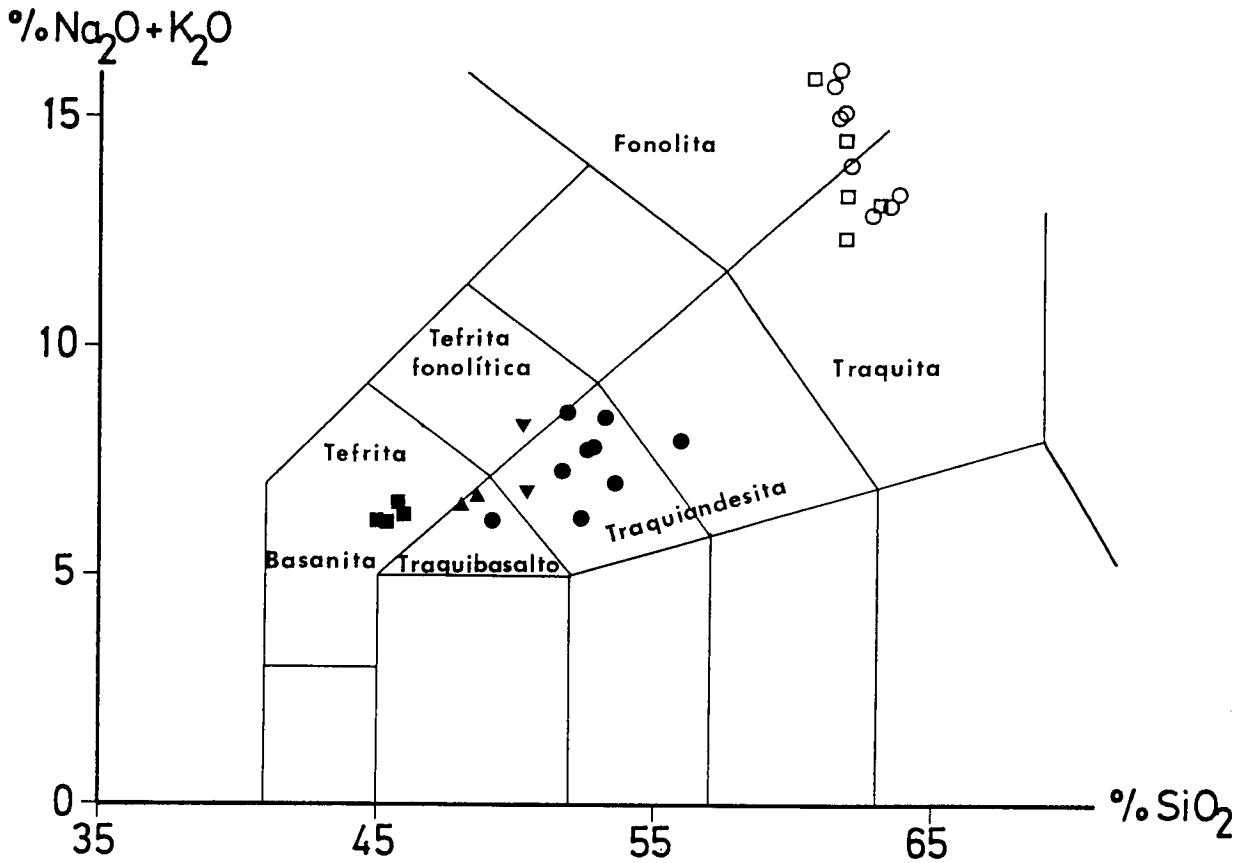


Fig. 5.– Diagrama T.A.S. de vidrios comagmáticos de los edificios hidromagmáticos de Tenerife. Caldera del Rey I: círculos huecos. Caldera del Rey II: cuadrados huecos. Montaña Escachada: círculos negros. Montaña Amarilla: Cuadrados negros. Montaña de los Erales: triángulos invertidos. Montaña del Mojón: triángulos.

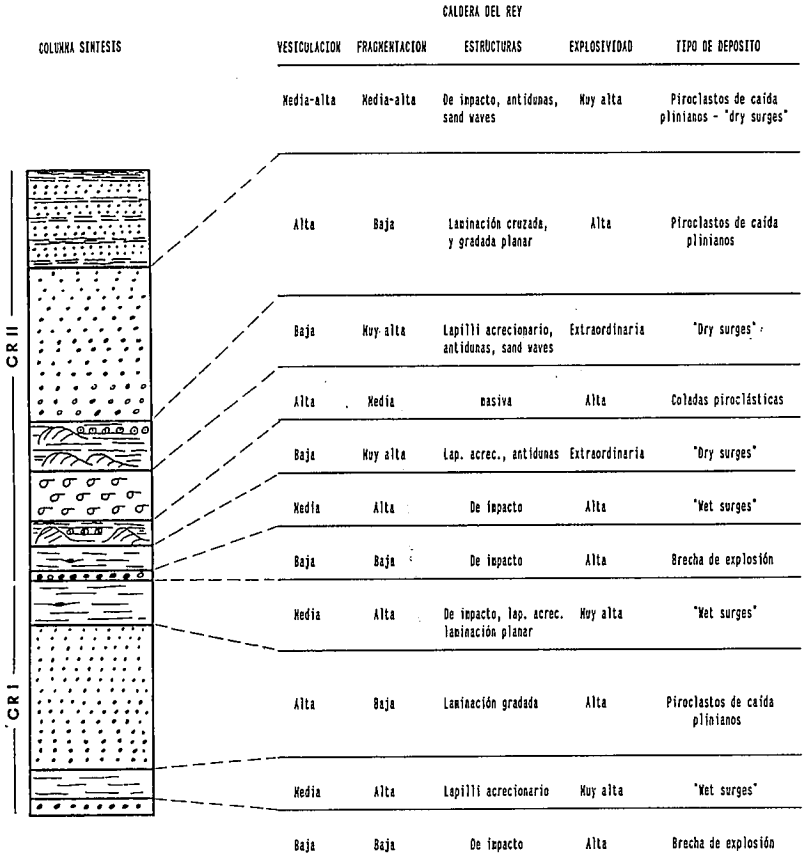


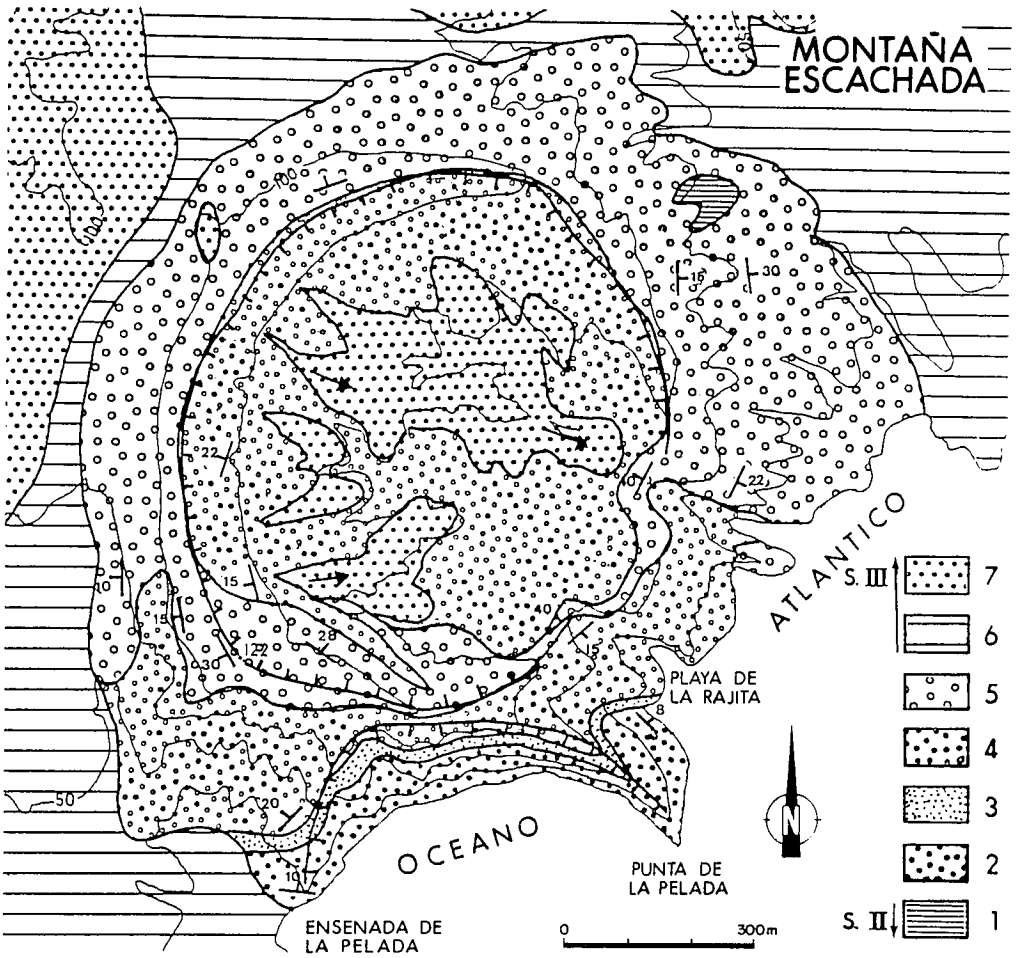
Fig. 6.– Síntesis de diversas características y mecanismos eruptivos de los depósitos de Caldera del Rey. Símbolos como en la Fig. 3

en CR II aunque presentando en todo momento un contenido en SiO_2 ligeramente menor que CR I.

Mecanismos eruptivos. La característica que diferencia este edificio de los restantes es su composición sálica, que unida a la explosividad propia de los fenómenos hidromagmáticos, da lugar a un aparato de mecanismos eruptivos muy violentos (Fig. 6), que suele ser común para este tipo de composición (Self y Sparks, 1978; Self, 1983). Para Paradas y Fernández (1984), el magma sálico cargado en volátiles sería el causante principal de la erupción explosiva y atribuyen escasa importancia a la posible interacción con agua subterránea, pues para ellos no hay depósitos de tipo "base surge" en el edificio. La erupción comienza con una brecha de explosión originada al abrirse los conductos eruptivos, para inmediatamente después efectuarse una entrada de agua en los mismos que da lugar a explosiones que desarrollan depósitos de tipo "wet-surge" con estructuras de impacto y laminaciones planares. A continuación predominan fases pobres en agua que originan columnas eruptivas plinianas con amplias nubes de productos pumíticos (CR I). Más adelante (CR II) se desarrollan depósitos de tipo "dry-surge" de alta explosividad con explosiones radiales de muy alta energía (Fisher y Waters, 1970; Fisher, 1979), posiblemente acompañadas por colapsos laterales de parte de la columna eruptiva sobrecargada en sólidos (Waters y Fisher, 1971; Kokelaar, 1986), y por coladas piroclásticas formadas a partir del colapso generalizado de la columna pliniana (Sparks y Wilson, 1976; Sparks *et al.*, 1978), que en algún caso no alcanza la suficiente energía para conseguir desbordar el cráter, como lo atestigua su rápida disminución de espesor hasta su desaparición al remontar el borde del cráter. La erupción finaliza con 40-50 ciclos eruptivos, caracterizados por la repetida secuencia de piroclastos de caída plinianos, interestratificados con depósitos "base surge", generados por el desmoronamiento radial de parte de las paredes de la columna eruptiva (Waters y Fisher, 1971), al existir un contacto cíclico del magma con agua.

Montaña Escachada o Pelada

Se trata de un edificio hidromagmático formado también por dos centros de emisión, el más antiguo se encuentra casi destruído por la erosión marina, mientras que el segundo está prácticamente conservado en su totalidad (Fig. 7). La evolución general de la erupción varía desde facies típicamente hidromagmáticas subaéreas a facies estrombolianas minoritarias, situadas en la parte superior del edificio. Estos materiales están cubiertos, en parte, por coladas piroclásticas sálicas de la Serie Cañadas Superior en la depresión central del edificio, y por coladas basálticas Serie III en sus bordes. Se han realizado dos columnas estratigráficas, que comprenden materiales de las calderas (Fig. 3), una desde la Ensenada de la Pelada hasta la cota 122, al Sur del edificio, y la segunda, a lo largo del barranco que desemboca en la Playa de la Rajita. En cuanto a la posición estratigráfica del edificio en el conjunto volcánico de la isla, éste se encuentra intercalado en la Serie Cañadas, pues sus materiales engloban fragmentos de coladas piroclásticas sálicas de dicha serie y están cubiertos por coladas piroclásticas sálicas más recientes. En parte, sus materiales se apoyan en un cono de escorias basálticas



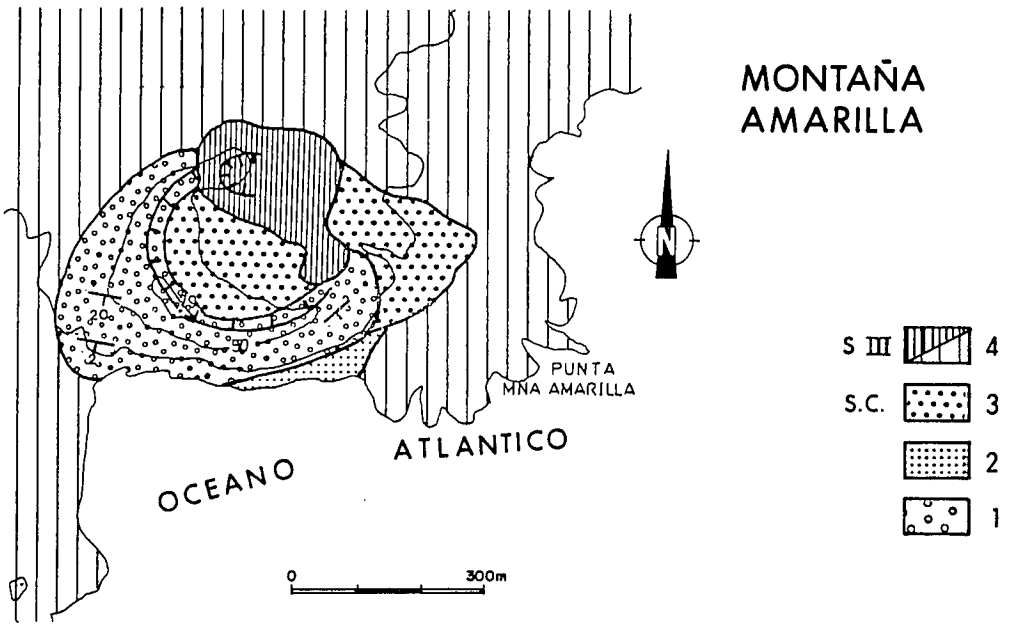


Fig. 7.– Esquema geológico de Montaña Escachada y Montaña Amarilla. Montaña Escachada: 1= Escorias basálticas. 2= Wet-surges (Escachada I). 3= Cineritas. 4= Wet-surges (Escachada II). 5= Dry-surges. 6= Coladas Basálticas. 7= Coladas piroclásticas sálicas. Montaña Amarilla: 1= Wet-surge. 2= Playa fósil. 3= Coladas piroclásticas sálicas. 4= Piroclastos y coladas basálticas.

probablemente de la Serie II, casi enterrado y que aparece al NE del edificio, similar a los de la zona del Porís de Abona (Reverón, Montaña Berje, etc.).

Los materiales de la caldera Escachada inferior (Escachada I) son fundamentalmente de tipo "wet-surge", con laminaciones planares algo difusas y con acumulación de

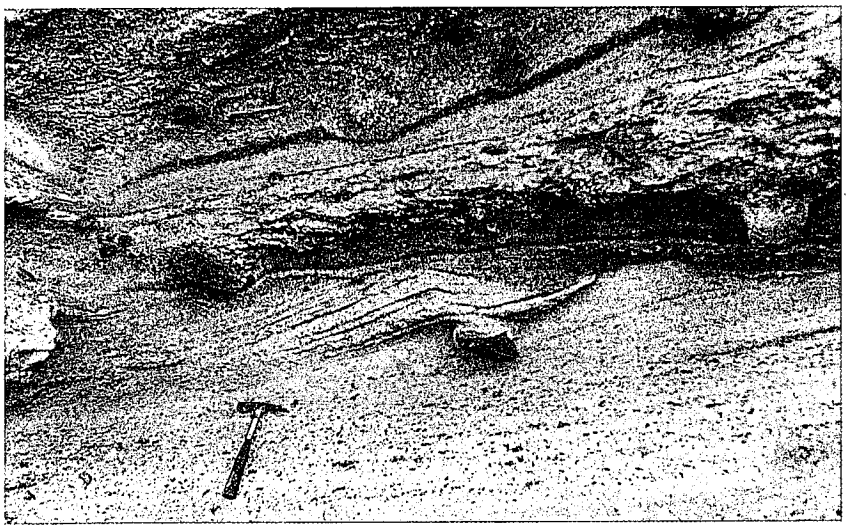


Fig. 8.–Ejemplos de estructuras de impacto y de laminación paralela (parte inferior) y cruzada con antiduna (parte media) a techo de Montaña Escachada I, junto a la Ensenada de la Pelada

fragmentos líticos de más de 1 m, sobre todo a techo; no hay claras estructuras de flujo, aunque sí estructuras de impacto muy groseras. Los fragmentos vítreos de caída se alternan a modo de lentejones de pocos cms. de espesor con los de tipo "surge" (Playa de la Rajita). En algunas zonas las bombas son tan abundantes que forman un depósito básicamente de caída. Los fragmentos vítreos constituyen aproximadamente un 30% del material de la caldera, los fragmentos líticos el 30-50%, y la matriz el 10-40%. El límite superior del edificio viene definido por una brecha con bloques muy gruesos, seguida de un nivel cinerítico de 50 cm a 1 m con estructuras de retracción, y unos 5 metros de depósitos tipo "dry-surge" con abundantes estructuras sedimentarias: dunas y antidunas, laminación paralela, estructuras de impacto, etc. (Fig. 8). Líticos y vidrios forman aproximadamente el 60% del depósito y la matriz constituye el resto. El espesor máximo de los materiales de Escachada I es de 52 metros.

El segundo edificio de la Montaña Escachada (Escachada II) comienza con 50 m de depósitos tipo "wet-surge" con laminación difusa y abundantes estructuras de impacto. Los líticos y vidrios forman el 30 % del depósito; la matriz es el 70%. Por encima aparecen unos depósitos "dry-surge", de unos 30 m. de espesor con muy buena laminación planoparalela, y con bombas fusiformes y lapilli de caída intercalados, además existen otras estructuras volcano-sedimentarias como "ripples" (Crowe y Fisher, 1973; Fisher y Schminke, 1984), canales en U o canales radiales (Fisher y Waters, 1970; Mattson y Alvarez, 1973; Fisher y Schminke, 1984) (Fig. 9), etc.. En algunas zonas los piroclastos de caída intercalados pueden llegar a ser mayoritarios, sobre todo a techo. Los líticos forman el 20% del depósito, el vidrio el 50% y la matriz el 30%. Aunque con reservas por su difícil separación, la mediana de los vidrios en casi todos los tramos es de unos 0.5 cm, excepto para los niveles con intercalaciones de piroclastos de caída y "dry surges", que es algo mayor (1 cm). La mayoría de los depósitos de tipo "dry-surge" de la segunda caldera remontan desde el interior el borde de la misma, presentando buzamientos hacia el interior muy cerca del punto de emisión y cambiando el buzamiento una vez remontado el relieve formado por los depósitos hidromagmáticos preexistentes, derramándose hacia el exterior del edificio.

Se han realizado más de cien medidas de diaclasas en diversas zonas del edificio Montaña Escachada, las cuales

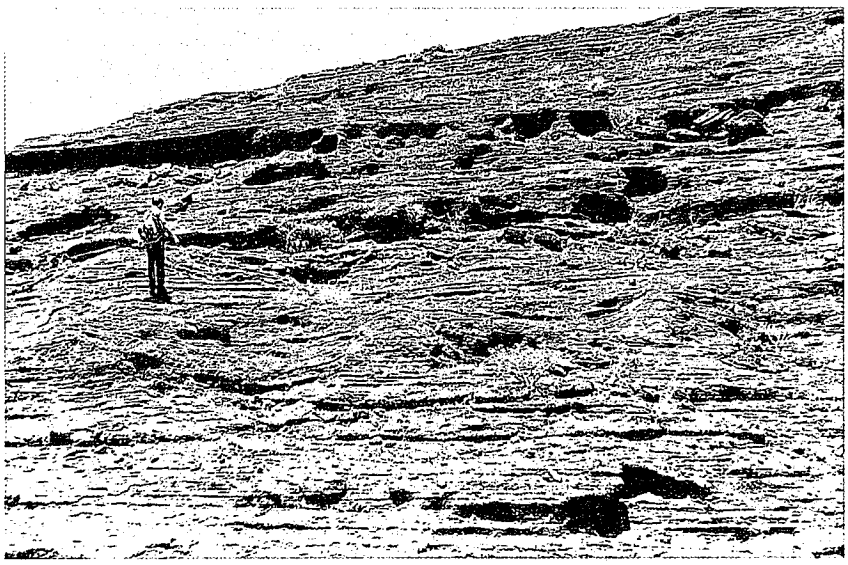


Fig. 9.– Canales en U de unos 4 m de anchura y 1 m de profundidad en los "dry-surges" del Norte de Montaña Escachada II

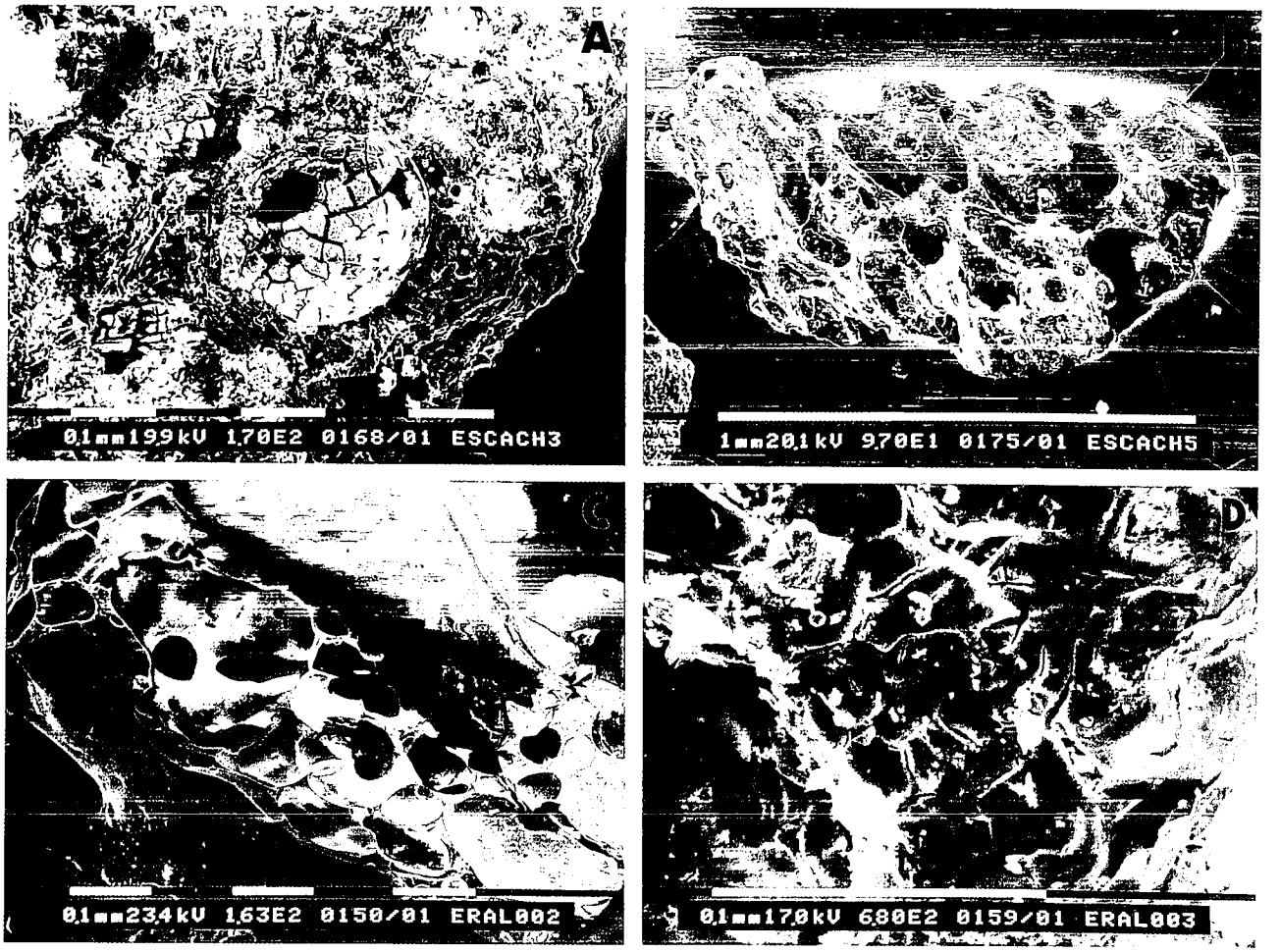


Fig. 10.– Microfotografías por SEM de vidrios comagmáticos: a) Vidrio con grietas de enfriamiento ("chilling cracks") en vacuola. Montaña Escachada. b) Vidrio vesiculado. Montaña Escachada. c) Vidrio vesiculado. Montaña de los Erales. d) Vidrio con grietas de enfriamiento ("chilling cracks") en vacuola. Montaña de los Erales

ponen de manifiesto la existencia de una dirección preferente de fracturación N170E (con más del 80% de las medidas) y otra secundaria N75E. La dirección principal se visualiza claramente por la alineación de las dos calderas (Escachada I y II), y es posible que relacione el edificio con otros conos estrombolianos cercanos, como la Montaña de los Riscos y Montaña Ifara. El hecho de que dicha fracturación principal N170E, directamente relacionada con la erupción, sea casi perpendicular a la línea de costa, debió favorecer la entrada del agua en ambos conductos de emisión, constituyendo este importante edificio hidrovolcánico doble.

Composición. Petrográficamente los materiales comagmáticos son traquibasaltos muy vacuolares sin fenocristales, con una matriz microcristalina a vítrea de tonos pardos, con abundantes microlitos de plagioclasa labradorítica y titanomagnetita, y escasos de anfíbol, augita y apatito. Normalmente están alterados y las vacuolas rellenas de carbonatos y ceolitas. En zonas donde llega la influencia marina, las rocas contienen bastantes cristales de halita.

Los vidrios presentan características morfológicas típicas de interacción agua-magma: formas equidimensionales ("equant"), vidrios con grietas de enfriamiento ("chilling cracks") (Fig. 10a), y alteración y ceolitización muy importantes. El grado de vesiculación de los vidrios evoluciona desde fases muy poco vesiculadas en la parte baja del edificio hasta vidrios muy vesiculados en la parte alta, alcanzando su máximo en las fases estrombolianas (Fig. 10b).

En cuanto a los líticos, son muy variados, desde todo tipo de basaltos a fonolitas, piroclastos sálicos, e incluso una destacable proporción de cantos de sienitas y gabros, arrancados del sustrato. En otros edificios hidromagmáticos canarios (Quesada *et al.,* 1988; Martí y Colombo, 1990) suelen aparecer xenolitos de rocas plutónicas, aunque generalmente sin relación con la interacción explosiva agua-magma, la cual se da a profundidades menores de 300 m en los anillos de tobas (Lorenz, 1986).

Como corresponde a los niveles donde interviene mayor proporción de agua, los "wet-surges" presentan tonos amarillentos, típicos de procesos de palagonitización, mientras que los depósitos superiores, de tonos grises, están más frescos sin estar afectados por estos procesos.

En el diagrama T.A.S. (Fig. 5) los vidrios comagmáticos de Montaña Escachada se proyectan mayoritariamente en el campo de las traquiandesitas, aunque debido a los elevados contenidos en agua de estas rocas (siempre mayores del 2%), y a pesar de estar recalculadas a 100 sin agua, el quimismo originario puede estar ligeramente modificado.

Mecanismos eruptivos. Las características morfoscópicas y sedimentológicas permiten plantear un modelo simplificado de evolución magmática para la erupción de Montaña Escachada (Fig. 11). Esta empieza con la entrada de importantes cantidades de agua de mar en los conductos de emisión, desarrollándose "wet-surges" de explosividad media. A medida que avanza el proceso de formación del edificio piroclástico comienzan a aislarse los conductos magmáticos del mar, aumentando la efectividad de las explosiones, y desarrollándose flujos de alta energía con baja cantidad de agua ("dry-surges"). Tras una interrupción en la actividad volcánica se depositan en discordancia los materiales de Montaña Escachada II. Este edificio comienza con una brecha de explosión que abre los conductos de emisión para permitir nuevamente la entrada de grandes cantidades de agua que da lugar a la formación de depósitos de tipo "wet-surge". Los conductos de emisión van quedando nuevamente aislados del mar, lo que da lugar a una mayor efectividad de las explosiones que desarrollan "dry-surges" con estructuras planares y canales en U. Finalmente los conductos se aislan totalmente del mar para dar lugar a algunas facies estrombolianas sin apenas interacción agua-magma.

Montaña Amarilla.

Se trata de un único centro de emisión relativamente reducido y cubierto en buena parte por depósitos sedimentarios (playa fósil), materiales piroclásticos sálicos de la Serie Cañadas y piroclastos de la Serie Basáltica III (Fig. 7). En general, son materiales de tipo "wet-surge", que comienzan con numerosas intercalaciones de piroclastos de caída, a continuación los materiales son cada vez de grano más fino y alternan menos frecuentemente con depósitos de caída. Los líticos forman el 10-20% del depósito, los vidrios juveniles el 20-30%, y la matriz el 40-60%. El tamaño máximo de líticos no sobrepasa los 60 cm, mientras que la mediana de los vidrios se mantiene alrededor de 1 cm. El edificio presenta dos direcciones de diaclasado bien diferenciadas: N40E y N140E, que también son paralela y perpendicular a la línea de costa respectivamente, favoreciendo probablemente la segunda la entrada de agua en el conducto.

Composición. Los vidrios comagmáticos son basaltos vacuolares sin fenocristales, con matriz microcristalina a vítrea de tonos pardos, con microlitos de plagioclasa, oli-

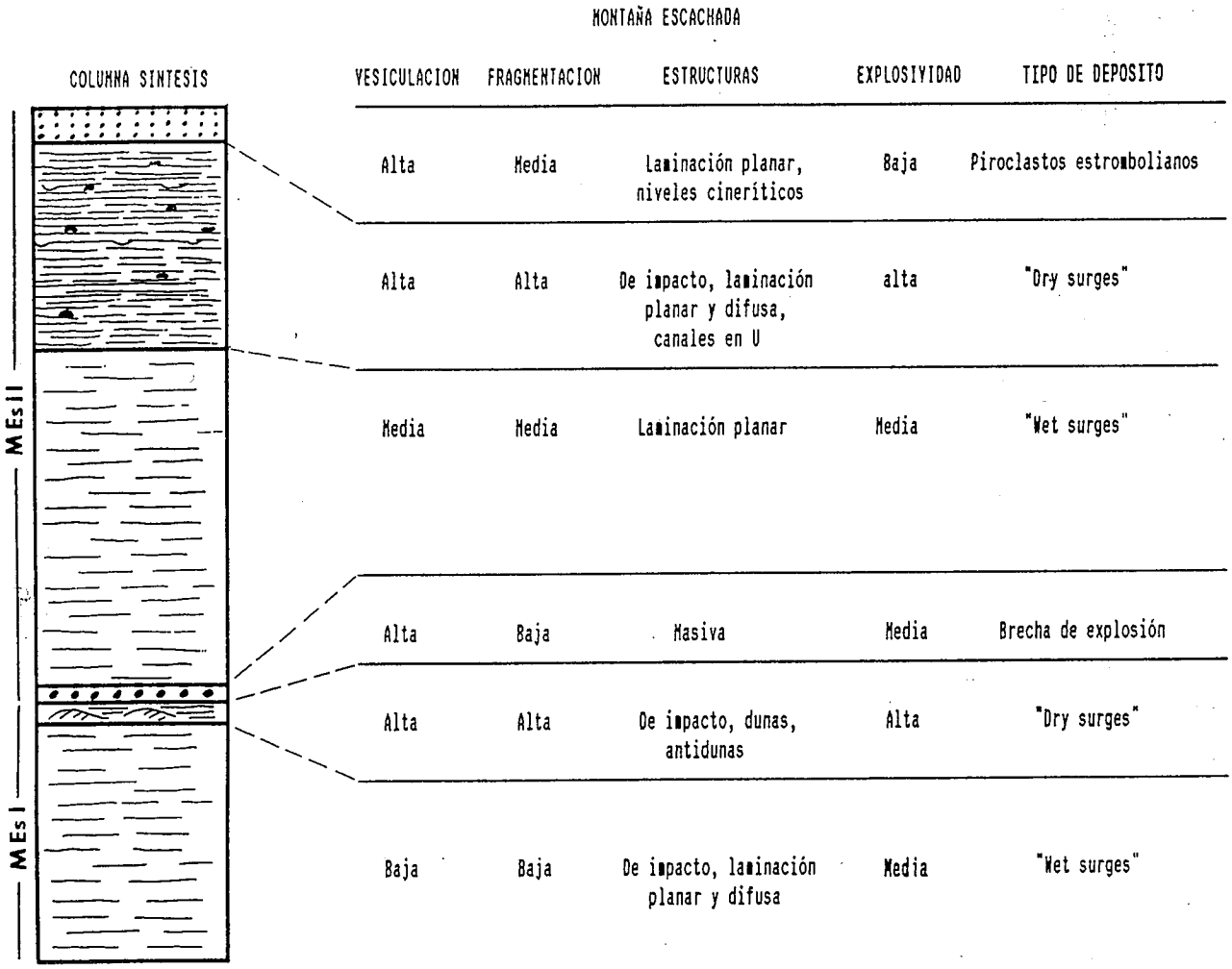


Fig. 11.– Síntesis de diversas características y mecanismos eruptivos de los depósitos de Montaña Escachada. Símbolos como en la Fig. 3

vino y más escasos de magnetita. Las vacuolas están rellenas de ceolitas y carbonatos. Como corresponde al nombre de este edificio, tanto los vidrios como la matriz están palagonitizados. Proyectados los vidrios en el diagrama T.A.S. (Fig. 5) caen todos agrupados y en el campo de las tefritas, siendo el único edificio (descartando Caldera del Rey) de carácter claramente subsaturado.

Mecanismos eruptivos. Se trata de una erupción típicamente hidromagmática, cuya base presenta ya características de alto contenido en agua, desarrollándose "wet-surge" de granulometría gruesa. A medida que avanza la erupción aumenta la efectividad de la interacción agua-magma, lo que se traduce en un aumento en la fragmentación del magma, desarrollándose depósitos de granulometría cada vez más fina, aunque no aparecen depósitos tipo "dry-surge".

Montaña de los Erales

Se trata de un centro de emisión estromboliano que en su base presenta facies de carácter hidrovolcánico, con tonos amarillentos y matriz fina. El espesor visible de estas facies es de unos 30 m, e incluye gran cantidad de bombas y lapilli. Se continúa con unos 5 m de alternancia de estas mismas facies, con niveles típicamente estrombolianos, que se distinguen claramente por sus tonos negros. El espesor de estos niveles de alternancia varía entre 30 y 150 cm, y van siendo más frecuentes a medida que se asciende en la columna. Finalmente, lo que persiste son los materiales de caída, encontrándose unos 16 metros de bombas y lapilli estrombolianos que recubren prácticamente todo el edificio inferior hidromagmático.

La Montaña de los Erales forma parte de una alineación de conos volcánicos Serie III, que llega hasta el mar, (Montaña El Majano, Montaña Negra, Montaña Malpasito y cono superior de Montaña Amarilla) (Fuster *et al.,* 1968), en la que curiosamente sólo en el centro de emisión más alejado del mar afloran depósitos hidrovolcánicos. Varios autores (Camus, *et al.,* 1981; Lorenz, 1986), indican que estos edificios se forman en áreas con plataformas someras y láminas de agua de muy escasa profundidad; es posible que Montaña de los Erales haya sido el primer centro eruptivo de los mencionados, y que marca la primitiva línea de costa, o bien, que se haya formado un brazo de mar semicerrado, que favoreció la erupción hidromagmática sólo en Montaña de los Erales.

Composición. Los vidrios comagmáticos son traquibasaltos vacuolares, con microcristales de anfíbol, augita egirínica y plagioclasa en una matriz vítrea, tanto para las facies amarillentas hidrovolcánicas, como para las negras estrombolianas. Desde el punto de vista morfoscópico en el examen realizado mediante microscopía electrónica, permite apreciar la siguiente evolución de base a techo del edificio: 1) aumento de la vesiculación (Fig. 10c); 2) disminución del grado de alteración; 3) disminución de la ceolitización, y 4) desaparición de grietas de fracturación en los vidrios (Fig. 10d). Químicamente, estos materiales son de composición intermedia, semejantes a los de Montaña Escachada o algo menos saturados (Fig. 5).

Montaña del Mojón

La mayor parte de este edificio está compuesta por materiales de naturaleza estromboliana, que al final presenta unos 12 metros de materiales hidromagmáticos de particulares características. Al Sur de Montaña del Mojón y junto a la autopista Santa Cruz-Las Américas, se puede observar que encima de las escorias y lapilli traquibasálticos de Montaña del Mojón se sitúan los siguientes niveles:

1) 2,5 m de niveles sálicos cineríticos con abundante lapilli acrecionario.

2) 2,5 m de escorias traquibasálticas alternando con niveles sálicos cineríticos de pocos centímetros, abundantes en la base.

3) 1 m de cineritas sálicas con abundantes escorias traquibasálticas.

4) 6 m de escorias traquibasálticas entremezcladas con pómez sálicos y con una matriz predominantemente cinerítica de composición sálica.

A continuación y después de un suelo de varios centímetros de espesor, se superponen coladas piroclásticas sálicas de la Serie Cañadas.

La primera evidencia de que Montaña del Mojón es un edificio anómalo es que se trata del único centro de emisión conocido en el archipiélago que funciona primero con carácter estromboliano simple y al final presenta depósitos de tipo hidromagmático, es decir, al revés de la secuencia existente en la mayoría de los aparatos hidromagmáticos (en Tenerife, Montaña Escachada o Montaña de los Erales; en La Palma, Caldera de Santa Cruz (Quesada *et al.,* 1988); en la Graciosa, Montaña Amarilla o Montaña de Las Agujas Grandes (Quesada *et al.,* 1992); etc.). La segunda y más importante anomalía es que los materiales de carácter hidromagmático observados presentan abundante material de composición sálica, predominantemente de grano fino, intercalado y entremezclado con escorias y lapilli traquibasálticos, sin que existan vidrios de composición intermedia, ni vidrios donde haya evidencia de mezcla de ambos magmas. En realidad, no existe una evidencia clara de que los materiales intermedios sean hidromagmáticos por si mismos, sino que son simplemente escorias y lapilli de carácter estromboliano.

El único centro de emisión sálico que ha podido depositar materiales de este tipo en la zona es Caldera del Rey (Paradas y Fernández, 1984), que dista 2 Kms. de Montaña del Mojón, puesto que del otro centro de emisión sálico (Montaña de Guaza) no se conocen hasta ahora depósitos de tipo hidromagmático. Por todo ello, creemos que pese a la proximidad geográfica, Caldera del Rey y Montaña del Mojón debieron funcionar simultáneamente, pero como dos centros volcánicos independientes, uno sálico y otro intermedio; y que probablemente debido a la enorme columna eruptiva desarrollada por Caldera del Rey, se debieron formar los depósitos "hidromagmáticos" anómalos de Montaña del Mojón.

Composición. Los vidrios comagmáticos son los mismos en todos los depósitos distinguidos (magmáticos e hidromagmáticos). Se trata de traquibasaltos vacuolares, con escasos fenocristales de plagioclasa en una matriz variable, de microcristalina, con plagioclasa abundante, a vítrea. Químicamente, las escorias de Mña. del Mojón son de carácter intermedio tefrítico-traquibasáltico (Fig. 5).

Tabla 1.– Parámetros morfológicos de los edificios hidromagmáticos costeros de Tenerife. H, altura; R, radio.

Edificio	Morfología	Volumen estimado Edificio (Km^3)	H. Máx. (m)	R Edif. (m)	R Cráter
Caldera del Rey	anillo de tobas	0.2	200	850	600
Mña. Escachada	anillo de tobas	0.1	120	750	450
Mña. Amarilla	anillo de tobas	0.03	80	300	150
Mña. de los Erales	anillo de tobas-cono de cínder	0.005	80	300	75
Mña. del Mojón	cono de cínder	0.03	190	400	100
Volcán de Taco	cono de cínder	0.07	220	700	200

Discusión

En la isla de Tenerife se desarrollan importantes edificios hidromagmáticos costeros (Tabla 1); siguiendo la terminología de Cas y Wright (1987) podemos caracterizarlos como anillos de tobas de composición basáltica e intermedia (Montaña Escachada, Montaña Amarilla y Montaña de los Erales) y sálica (Caldera del Rey) en los que la interacción magma-agua marina ha dado lugar a características morfológicas y estructurales de significado claramente hidrovolcánico, que evolucionan en algún caso a depósitos estrombolianos cuando la cantidad de agua que interacciona pasa a ser muy pequeña o nula. En base a dicha terminología, Caldera del Rey no debe ser considerado como maar (Paradas y Fernández, 1984), sino como anillo de tobas.

Basándonos en datos experimentales (Sheridan y Wohletz, 1983; Wohletz y McQueen, 1984; Kokelaar, 1986), la proporción agua-magma varía desde 0.1 a 1 para los anillos de tobas con depósitos de tipo surge, con laminación marcada y abundantes estructuras sedimentarias, en los que la energía liberada se acerca a la más eficaz para producir hidroexplosiones. Para Wohletz y McQueen (1984) y Wohletz (1986) la relación agua-magma óptima se situa entre 0.3 y 0.4, encontrándose el agua en estado de vapor sobrecalentado, y es precisamente en este intervalo en el que la cantidad máxima de energía calorífica es transformada a mecánica, produciendo mayor fragmentación en el magma, mayor excavación del cráter y mayor dispersión de los materiales emitidos. Para valores de agua-magma cercanos a 1 o superiores, los edificios resultantes suelen ser conos de tobas con depósitos de "surges" masivos, en los que la energía necesaria para su formación es sensiblemente menor que para los depósitos anteriores, existiendo exceso de vapor saturado.

Comparando los edificios hidromagmáticos basálticos e intermedios de Tenerife y los materiales emitidos con otros similares de la bibliografía (Verwoerd y Chevalier,

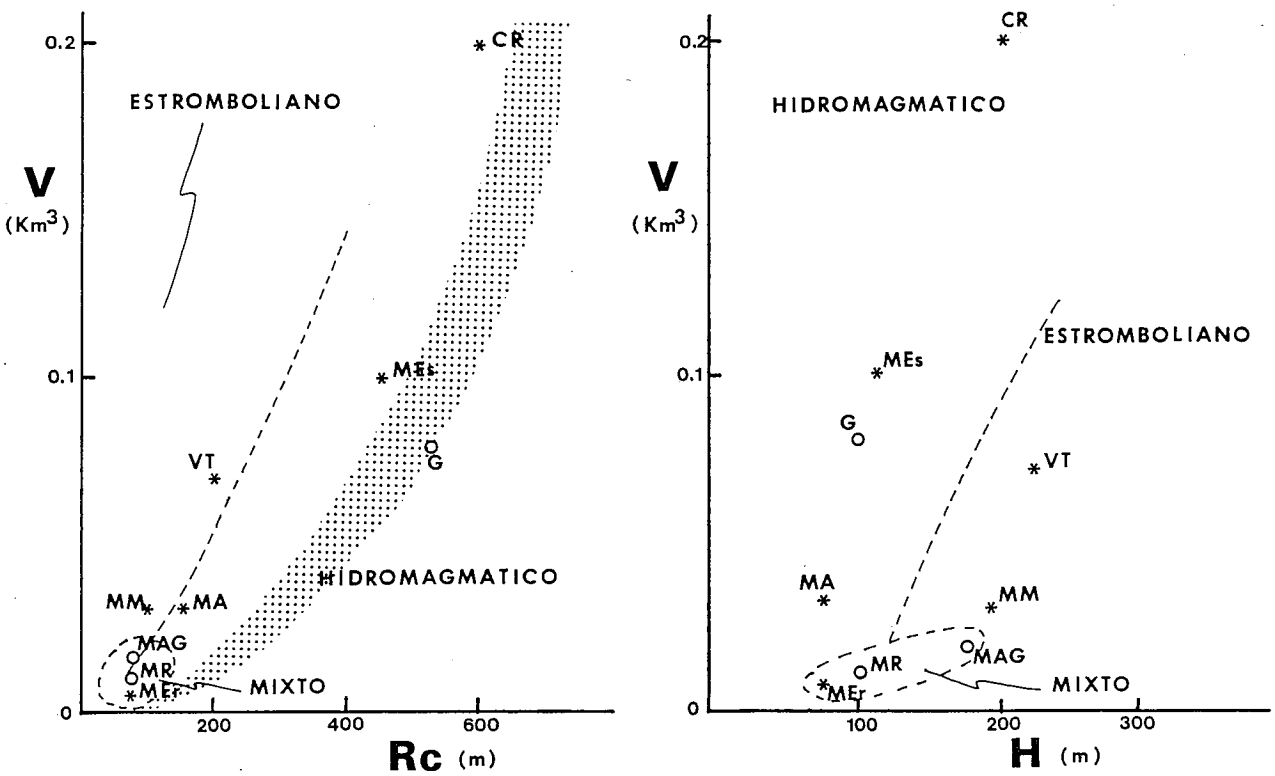


Fig. 12.– Diagramas que relacionan el radio del cráter (Rc) y altura del mismo (H) con el volumen estimado del edificio (V). Abreviaturas como en la Fig. 1. Se incluyen además otros edificios hidromagmáticos canarios, como El Golfo (G) de Lanzarote, Montaña Amarilla (MAG) de Graciosa y Morro de la Rapadura (MR) de Alegranza. En el campo punteado se sitúan algunos edificios similares de Eifel (Fisher y Schminke, 1984). Las líneas de separación de los distintos campos se han trazado en base a los puntos proyectados.

1987; Wohletz, 1983), puede restringirse algo más la relación aguamagma a 0.1-0.3 para los anillos de tobas en los que abundan *dry-surges* laminaciones cruzadas y a 0.3-0.5 para los anillos de tobas con depósitos de tipo wet-surge masivos. Según esto, en los edificios hidromagmáticos basálticos y traquibasálticos de Tenerife hay un aumento de la energía liberada en la erupción cuando se evoluciona de "wet" a "dry-surges", con la consiguiente disminución en la proporción agua-magma, para finalmente acabar en algunos casos con depósitos estrombolianos, de muy baja energía y relación agua-magma en comparación con el resto de los depósitos.

El edificio de mecanismos eruptivos más violentos, y por tanto, de mayor energía liberada en la actividad volcánica, es precisamente Caldera del Rey, el único sálico de los estudiados, cuyos materiales presentan el mayor grado de fragmentación, pues a la propia fragmentación del magma se le sobreimpone la debida a la interacción agua-magma (Self y Spaks, 1978; Self, 1983). La secuencia encontrada en la erupción comprende una fase puramente pliniana al principio, con piroclastos de caída dominantes, seguida de una segunda fase básicamente hidromagmática con importantes depósitos de "base surge" radiales para a continuación pasar la actividad a sucesivas secuencias magmática-hidromagmática, con intercalaciones de piroclastos de caída y "base surges" generados por colapsos de la columna. El comienzo de estos edificios diferenciados con una actividad puramente magmática, para continuarse con una erupción ya de tipo hidromagmático suele ser común para este tipo de edificios (Frazzeta *et al.,* 1983; Self, 1983). Teniendo en cuenta que es el edificio de mayores dimensiones (Tabla 1), que la mezcla agua-magma se verifica posiblemente a mayor profundidad y que presenta mayor volumen de materiales emitidos, se puede concluir que es el de mayor y más duradera actividad eruptiva (Lorenz, 1986) de los de Tenerife.

En cuanto a la proporción agua-magma, los edificios hidromagmáticos de magmas diferenciados requieren menor proporción agua-magma que los de los basálticos para producir la misma energía liberada en las hidroexplosiones (Boivin *et al.,* 1982), por lo que es de esperar una proporción agua/magma en todo caso entre 0.1 y 0.3.

Se ha comparado la morfología (radio y altura del cráter) de anillos de tobas y conos de cinder del Archipiélago con el volumen de los edificios (Fig. 12), resultando que los de naturaleza típicamente hidromagmática se separan claramente de los de génesis estromboliana y de los que tienen un origen mixto, pudiendo observarse que los edificios hidromagmáticos canarios proyectados son de parámetros similares a otros de la bibliografía (Fisher y Schmincke, 1984), mientras que los dos conos de cinder proyectados se separan nítidamente de los anteriores. Los de génesis mixta, que en su evolución al principio son hidromagmáticos y en las etapas finales estrombolianos, se acercan al campo magmático o al hidroexplosivo en función de la proporción existente de una u otra actividad del edificio. En cuanto a la morfología de Caldera del Rey, no hay ninguna evidencia a favor de la existencia de un "ring-fault" o de importantes fenómenos erosivos que hayan ensanchado el cráter (Paradas y Fernández, 1984), pues existen en el archipiélago edificios con cráteres similares, y aún mayores (Quesada *et al.,* 1992), donde tampoco cabe hablar de estos fenómenos.

Conclusiones

Se han distinguido cuatro edificios hidromagmáticos, todos ellos anillos de tobas, en Tenerife. Se descartan Montaña del Mojón y Volcán de Taco como edificios hidrovolcánicos. El de mayor actividad es el centro eruptivo sálico de Caldera del Rey. En los edificios hidromagmáticos basálticos y traquibasálticos (Montaña Escachada, Montaña Amarilla y Montaña de los Erales) se comienza generalmente con depósitos de tipo "wet-surge" masivos, se incrementa la energía de la erupción, pasándose a materiales tipo "dry-surge" con laminaciones cruzadas, donde se da la mayor efectividad en la transformación de energía calorífica en mecánica, para al final, y no en todos los casos, concluir la erupción con una actividad meramente estromboliana.

En Caldera del Rey la actividad magmática es más complicada, reconociéndose tres fases principales: 1) erupción básicamente pliniana con interacción agua-magma subordinada (CR I), 2) actividad hidromagmática óptima, con depósitos muy fragmentados y abundantes estructuras volcanosedimentarias (base de CR II), 3) restablecimiento de la columna pliniana con continuos colapsos de columna, que intercalan depósitos de caída con base surges (resto de CR II).

En todos los casos de hidromagmatismo litoral en Tenerife existe una fracturación ortogonal, la cual debe condicionar la génesis explosiva de estos edificios.

Este trabajo ha sido financiado por la Consejería de Educación del Gobierno de Canarias (proyecto 6/02.06.87). Se agradece al Dr. Corretge, responsable del Servicio de Microsonda de la Universidad de Oviedo, la ayuda prestada para realizar los análisis mineralógicos.

Bibliografía

Alonso, J. J. (1989): *Estudio volcanoestratigráfico de los piroclastos sálicos del Sur de Tenerife.* Tesis. Univ. La Laguna. 257 p.

Alonso, J. J., De la Nuez, J. y Quesada, M. L. (1992): La erupción del volcán de Taco (Tenerife, Canarias). *Geogaceta.* 12: 28-30.

Ancochea, E., Fúster, J. M., Ibarrola, E., Cendrero, A., Coello, J., Hernán, F., Cantagrel, J. M. y Jamond, C. (1990): Volcanic evolution of the island of Tenerife (Canary Islands) in the light of new K-Ar data. *Jour. Volcanol. Geoth Res.,* 44: 231-249.

Araña, V., Bellido, F., Bustillo, M. A., Omarini, R. y Ortiz, R (1986): Interacción agua-magma en la erupción del volcán de Taco. (Tenerife, Islas Canarias). *An. Fisica,* serie B, 82: 154-175.

Boivin, P., Bourdier, J. L., Camus, G., Goer de Herve, A., Gourgaud, A., Kieffer, G., Mergoil, J., Vincent, P. M. y Auby, R.(1982): Influence de la nature des magmas sur l'activité phréatomagmatique: approche volcanologique et termodynamique. *Bull. Volcanol.* 45: 25-39.

Camus, G., Boivin, P., Goer de Herve, A., Gourgaud, A., Kieffer, G., Mergoil, J. y Vincent, P. M. (1981): Le Capelinhos (Faïal, Açores). Vingt ans après son éruption: le modèle éruptif «surtseyen» et les anneaux de tufs hyaloclastiques. *Bull. Volcanol.,* 41: 33-42.

Carracedo, J. C. (1984): El relieve volcánico. En: *Geografía de Canarias*. Ed. Interinsular Canaria. I: 65-104.

Cas, R. A. F. y Wright, J. V. (1987): *Volcanic successions. Modern and ancient.* Allen y Unwin. 528 p.

Crowe, B. M. y Fisher, R. V. (1973): Sedimentary structures in base-surge deposits with special reference to cross-bedding, Ubehebe craters, Death Valley, California. *Geol. Soc. Am. Bull.* 84: 663-682.

Díaz, M. (1989): Oleadas piroclásticas en la Pared de las Cañadas. En: *Los Volcanes y la Caldera del Parque Nacional del Teide.* V. Araña y J. Coello, Eds. 193-200.

Fisher, R. V. (1979): Models for pyroclastic surges and pyroclastic flows. *Jour. Volcanol. Geoth. Res.* 6: 305-318.

Fisher, R. V. y Schmincke, H. U. (1984): *Pyroclastic rocks* Springer-Verlag. 472 p.

Fisher, R. V. y Waters, A. C. (1970): Base surge bed forms in maar volcanoes. *Amer. Jour. Sci.* 268: 157-180.

Frazzetta, G., La Volpe, L. y Sheridan, M. F. (1983): Evolution of the Fossa Cone, Vulcano. *Jour. Volcanol.Geoth. Res.* 17: 329-360.

Fúster, J. M., Araña, V., Brändle, J. L., Navarro, J. M., Alonso, V. y Aparicio, A. (1968): *Geología y Volcanología de las Islas Canarias. Tenerife.* Inst. Lucas Mallada. Madrid 218 p.

Kokelaar, P. (1986): Magma-water interactions in subaqueous and emergent basaltic volcanism. *Bull. Volcanol.,* 48: 275-289.

Lorenz, V. (1986): On the growth of maars and diatremes and its relevance to the formation of tuff rings. *Bull. Volcanol.,* 48: 265-274.

Martí, J. y Colombo, F. (1990): Estratigrafía, sedimentología y mecanismos eruptivos del edificio hidromagmático de El Golfo (Lanzarote). *Bol. Geol. Min. España,* 101: 56-75.

Martí, J., Mitjavila, J., Barrachina, A. y Araña,V. (1989): El edificio volcánico de Diego Hernández. En: *Los Volcanes y la Caldera del Parque Nacional del Teide.* V. Araña y J. Coello, Eds., 201-226.

Mattson, P. H. y Alvarez, W. (1973): Base surge deposits in Pleistocene volcanic ash near Rome. *Bull. Volcanol.* 37: 553-572.

Paradas, A. y Fernández Santín, S. (1984): Estudio volcanológico y geoquímico del Maar de la Caldera del Rey, Tenerife (Canarias). *Estudios Geol.,* 40: 285-313.

Quesada, M. L., Alonso, J. J. y De la Nuez, J. (1988): Evolución submarino-subaérea del edificio hidromagmático de la Caldereta (La Palma, Canarias). *Com. II Congr. Geol. España, Simp.* 377-386.

Quesada, M. L., De la Nuez, J. y Alonso, J. J. (1992): Edificios hidromagmáticos en las Isletas del Norte de Lanzarote. *III Congr. Geol. España.* Tomo 1: 473-476.

Rodríguez, J. A., Alonso, J. J., Quesada, M. L. y De la Nuez, J. (1989): La Caldera del Golfo: un edificio hidrovolcánico en Lanzarote (Canarias). *ESF Meeting on Canarian Volcanism* (Abstract), 164.

Schmincke, H. U., Fisher, R. V. y Waters, A. C. (1973): Antidune and chute and pool structures in the base surge deposits of the Laacher See area, Germany. *Sedimentology,* 20: 553-574.

Self, S. (1983): Large-scale phreatomagmatic silicic volcanism: a case study from New Zealand. *Jour. Volcanol. Geoth. Res.,* 17: 433-469.

Self, S. y Sparks, R. S. J. (1978): Characteristics of widespread pyroclastic deposits formed by the interaction of silicic magma and water. *Bull. Volcanol.,* 41: 196-212.

Sheridan, M. F. y Updike, R. G. (1975): Sugarloaf Mountain tephra a Pleistocene rhyolitic deposit of base-surge origin in Northern Arizona. *Geol. Soc. Am. Bull.,* 86: 571-581.

Sheridan, M. F. y Wohletz, K. H. (1983): Hydrovolcanism: basic considerations and review. En: *Explosive Volcanism.* M. F. Sheridan y F. Barberi Eds., Elsevier 1-30

Sparks, R. S. J. y Wilson, L. (1976): A model for the formation of ignimbrite by gravitational column collapse. *Jour. Geol. Soc. (London),* 132: 441-451.

Sparks, R. S. J., Wilson, L. y Hulme, G. (1978): Theoretical modelling of the generation, movement and emplacement of pyroclastic flows by column collapse. *Jour. Geoph. Res.,* 83: 1727-1739.

Verwoerd, W. J. y Chevallier, L. (1987): Contrasting types of surtseyan tuff cones on Marian and Prince Edward islands, southwest Indian Ocean. *Bull. Volcanol.,* 49: 399-417.

Waters, A. C. y Fisher, R. V. (1971): Base surges and their deposits: Capelinhos and Taal volcanoes. *Jour. Geophys. Res.,* 76: 5596-5614.

Wohletz, K. H. (1983): Mechanism of hydrovolcanic pyroclast formation: grain-size, scanning electron microscopy, and experimental studies. *Jour. Volcanol. Geoth. Res.,* 17:31-63.

Wohletz, K. H. (1986): Explosive magma-water interactions: thermodynamics, explosion mechanisms, and field studies. *Bull. Volcanol.,* 48:245-264.

Wohletz, K. H. y McQueen, R. G. (1984): Experimental studies of hydromagmatic volcanism. En: *Explosive volcanism: Inception, evolution and hazards.* Studies in Geophysics National Academy Ress, Washington DC., 158-169.

Wohletz, K. H. y Sheridan, M. F. (1979): A model of pyroclastic surge. *Geol. Soc. Amer.* Spec. paper 180: 177-194.

Recibido el 22 de febrero de 1992;
aceptado el manuscrito revisado el 9 de Diciembre
de 1992.