

ESTUDIO VULCANOLÓGICO Y GEOQUÍMICO DEL MAAR DE LA CALDERA DEL REY. TENERIFE (CANARIAS)

A. Paradas Herrero (*) y S. Fernández Santín (*)

RESUMEN

En este trabajo se hace el estudio cartográfico, morfológico, petrográfico y geoquímico de la Caldera del Rey.

La Caldera del Rey es un edificio volcánico formado por dos maars imbricados. El que se formó en segundo lugar es de mayores dimensiones y destruyó en parte el primero.

Ambos aprovecharon para hacer erupción una posible fractura de dirección N 35° E, de importancia regional en el Archipiélago.

La erupción fue de una gran explosividad, que se supone debida, en parte, a la gran importancia de la fase gaseosa del magma sálico y en parte al vapor de agua originado durante la interacción del magma con agua subterránea.

Esta explosividad se pone de manifiesto en el resalte tallado en la Serie Basáltica Antigua, atravesada y fragmentada en parte por la erupción.

El carácter freatomagmático de la erupción se refleja por la existencia de lapilli accreccionario.

Los materiales emitidos son exclusivamente de proyección aérea: aglomerados, tobas y cineritas, no habiéndose originado coladas. Parte de los cantos de la toba son comagmáticos, y, al igual que las cineritas y el pómez, corresponden a rocas sálicas traquítico-fonolíticas, que representan los últimos estadios de la diferenciación de los magmas alcalinos oceánicos.

El carácter geoquímico de los materiales de la Caldera del Rey es característica y se distingue claramente de los de otros depósitos próximos y también sálicos formados en diferentes ciclos.

PALABRAS CLAVE: Maar, Erupción freatomagmática, Rocas sálicas, Islas Canarias.

ABSTRACT

In this study a cartographic, morphological, geochemical and petrographic study is made of the "Caldera del Rey".

The "Caldera del Rey" is a volcanic structure formed by two overlapping maars. The second one (maar) that was formed is of greater dimensions and destroyed part of the first one.

Both maars erupted through a possible fracture N 35 E, which is one of the directions with regional importance in the Archipelago.

The eruption, which was very explosive, has been thought to be due in part to the great importance of the gaseous phase of the salic magma and also to the steam produced during the interaction of the magma with underground water.

This explosivity can be clearly seen in the clear resalte cul out in the "Serie Basáltica Antigua" to some extent penetrated and fragmented by the eruption.

The phreatomagmatic character of the eruption is evident because of the existence of accretionary lapilli.

The materials emitted are exclusively of aerial projection: agglomerates, tuffs, cinerites. There was no flow of lava.

Some of the fragments of tuffs as cinerites and pumice are comagmatic. These correspond to salic trachytic phonolitic rocks, which represent one of the last stages of differentiation of the alkaline oceanic magmas.

The geochemical character of the materials of the "Caldera del Rey" is characteristic and can be easily distinguished from other nearby salic deposits formed in different cycles.

KEY WORDS: Maar, Phreatomagmatic eruption, Salic rocks, Canary Islands.

(*) Departamento de Petrología. Facultad de Ciencias Geológicas. Universidad Complutense. Madrid.

Introducción

Dentro del vulcanismo sálico de Tenerife, se pueden separar tres episodios atendiendo tanto a la época como al tipo de edificios volcánicos que se originaron. El primero y más antiguo comprende al conjunto de extrusiones sálicas asociadas a las formaciones de Basaltos Antiguos de Teno, Anaga y el sur de la isla. El segundo incluye los edificios sálicos que forman parte del complejo Teide-Pico Viejo y Circo de las Cañadas. Por último, habría que considerar todo un conjunto de volcanes y extrusiones recientes dispersas por la isla y no asociadas a los dos episodios anteriores.

Dentro del vulcanismo correspondiente al tercer grupo se encuentra el accidente volcánico de la Caldera de Rey, que se estudia en este trabajo. Las características tan marcadas de maar que posee, junto con el hecho de que posiblemente sea el único accidente volcánico de este tipo, o al menos con caracteres tan acusados, tanto de Tenerife como del Archipiélago Canario, le hace merecedor de un detallado estudio en todos sus aspectos: vulcanológicos y petroológico-geoquímicos.

Tiene también interés, ya que en la literatura, aunque existen numerosos estudios de calderas de estas características (maars), nunca se han citado aquellas de carácter sálico.

Aparte de ello, el estudio petroológico y geoquímico de este maar aporta una serie de datos para el estudio completo de los ciclos sálicos recientes de Tenerife.

Las referencias bibliográficas que se poseen de ella, son escasas, limitándose en el caso más favorable a una simple descripción. Datos sobre la Caldera del Rey aparecen en algunas de las monografías existentes sobre Tenerife: Hausen (1956) y Fúster *et al.* (1968). También se cita en los mapas y memorias de las Hojas geológicas 1:50.000, Alonso *et al.* (1969), Araña *et al.* (1969) y 1:25.000, Hernández-Pacheco, A. (1979), del Mapa Geológico Nacional del IGME. Igualmente aparece en diversas publicaciones como ejemplo típico de maar (Araña y López Ruiz, 1974, y Araña y Carracedo, 1979), pero solamente se le cita, sin ninguna descripción complementaria.

El origen que se ha atribuido a la Caldera del Rey es de dos tipos según los autores: erupción tipo maar y cráter de explosión. Sin embargo, hasta ahora no se ha hecho nunca un estudio sistemático, ni de sus caracteres morfológicos, ni de sus materiales, aunque sí existen, al margen de las descripciones anteriormente citadas, algunos datos aislados dentro de algún trabajo de mayor envergadura en Tenerife, Brandle (1973).

Para este estudio se han abordado una serie de aspectos tanto de campo como de laboratorio: a) Cartografía de los distintos episodios eruptivos y determinación de su posición vulcanoestratigráfica en

relación con las restantes formaciones volcánicas de la zona. b) Estudio petrográfico de los materiales en relación con su posición geográfica. c) Estudio morfológico. d) Estudio de las estructuras en los depósitos de proyección aérea. e) Elaboración e interpretación de datos geoquímicos, a fin de ver las pautas de evolución del magma originario y su influencia en el mecanismo de erupción y morfología. f) Mecanismo y caracterización del tipo de erupción.

Geología del área de Los Cristianos

El área de Los Cristianos (Hoja geológica 1.118-1.124, III-IV, escala 1:25.000) está situada en la zona sur de Tenerife (fig. 1). Esta zona queda limitada al norte y este, respectivamente, por Adeje, Granadilla de Abona y valle de San Lorenzo, en cuyas áreas se originaron la mayoría de las formaciones volcánicas que hoy aparecen en la zona de estudio.

La formación más antigua que aflora en esta zona (NE de la Hoja), corresponde a la Serie Basáltica Antigua (Serie I) representada por las estratificaciones meridionales del Roque del Conde (Morro Negro, Morro Meleñe y Risco Bisechi). Existe una datación radiométrica de estos materiales en el Roque del Conde (Adeje), que da una edad de 2,5 m. a. Estos materiales de carácter basáltico y traquibasáltico aparecen formando superposición de coladas subhorizontales de poco espesor y con un ligero buzamiento hacia el mar (SO). Se encuentra atravesada por diques subverticales de poca potencia y generalmente de la misma naturaleza de las coladas. También aparecen intercalados algunos almárges y materiales piroclásticos muy alterados.

Después de este ciclo, y tras un período erosivo de gran magnitud, que origina una discordancia erosiva regional, aparecen formaciones (Serie II y Serie III) que desde finales del Plioceno se extiende hasta nuestros días, cubriendo las zonas más bajas de la Serie Basáltica Antigua y ganando terreno al mar. En estas emisiones alternan episodios basálticos y sálicos.

Inmediatamente sobre la discordancia se apoya la Serie II. Esta serie basáltica (basaltos y traquibasaltos) aflora únicamente junto a la costa, en el O de la Hoja, entre el Collado de Fañabé y El Jurado, siguiendo una estrecha franja a lo largo de la costa hasta el Embarcadero. También a la Serie II se asimilan algunas coladas que afloran en el fondo del Barranco del Rey en su último tramo. El sustrato de la zona de Las Américas estaría formado también por estos materiales. Los centros de emisión de estas coladas II son desconocidos, debiendo de situarse bajo los materiales de proyección aérea de la Caldera del Rey, más hacia el interior. Asimismo, se incluyen en esta Serie unos afloramientos de tobas poligénicas básicas que se sitúan por debajo de los materiales basálticos anteriormente citados. Aparecen en el extremo sur del Collado de Fañabé y en la zona denominada Las Toscas (NO de la Hoja).

La Serie III, que se situaría por encima de la Serie II, es la única con centros de emisión bien localizados dentro del área y quizás, por ser la más reciente en el tiempo, es la que más extensión de afloramientos posee. Alternan, como se dijo anteriormente, emisiones sálicas y básicas.

Dentro de las emisiones basálticas de esta Serie, se incluiría un cono situado en el noroeste de la Hoja (Vueltas de Adeje), aunque de posición estratigráfica dudosa entre la Serie II y la Serie III, debido a su estado de alteración y a su posición sobre la Serie I, siendo reconocible por una masa de escorias y piroclastos.

A esta Serie también pertenecerían todo un conjunto de coladas que con centros de emisión situados fuera del área

(Arona, Valle de San Lorenzo), descienden desde el noroeste bordeando la Serie Basáltica Antigua (Risco Bisechi) y llegan al mar entre la Punta de Camisón y las estribaciones de Montaña de Guaza. Entre estas coladas y dentro del área se sitúan dos centros de emisión de esta Serie: Montaña del Mojón y Montaña Chayofa. Son dos conos formados de escorias y piroclastos muy bien conservados. El malpaís basáltico de los Goros, situado en el sur de la Hoja, aunque algo más reciente, puede englobarse en esta Serie. Sus centros de emisión son volcanes bien conservados que se situarían al este.

Todos estos materiales provenientes de estos dos centros de emisión: lavas, tobas pumíticas, cineritas y aglomerados, alcanzaron gran desarrollo en esta zona y debieron de cubrir todo el ámbito de las formaciones preexistentes, aunque la posterior erosión haya denudado gran parte de esta cobertura, quedando actualmente alrededor de los centros de emisión y en puntos locales.

Por último, habría que citar diversas formaciones sedimentarias, las cuales pueden agruparse en varios tipos: suelos formados "in situ" a partir de los materiales tobáceos pu-

TABLA 1

Secuencia vulcano-estratigráfica de los episodios eruptivos que forman el ámbito geológico del área de Los Cristianos

| PERIODOS | EPISODIOS VULCANO-ESTRATIGRAFICOS | TIPOS PETROLOGICOS | UNIDAD O LOCALIZACION |
|------------------|--|--|---|
| Holoceno | Suelos, depósitos de barranco y rambla y pie de monte. | Materiales sedimentarios | |
| Pleistoceno | Serie III | Basaltos. Malpaises y conos de escorias y piroclastos | Traquitas y/o fonolitas |
| | | | Aglomerados, tobas pumíticas y lavas. |
| | | | Traquitas y/o fonolitas. Aglomerados, tobas pumíticas y heterogéneas, cineritas. |
| Paleosuelos | Materiales pumíticos sálicos. Cantos poligénicos. | Las Madrigueras Los Morritos. | |
| Mioceno-Plioceno | Serie II | Basaltos Tobas poligénicas | El Jurado |
| | Serie Antigua (Serie I intermedia) | Basaltos, traquibasaltos | Roque del Conde Morro Meleñe Risco Bisechi |

~~~~~ Discordancia erosiva regional marcada.

Según HERNANDEZ-PACHECO, A., 1979 con modificaciones.

Las emisiones sálicas de la Serie III provienen de dos puntos de emisión, uno situado en la zona: la Caldera del Rey, objeto de este estudio, y otro al este de la Hoja (Valle de San Lorenzo), y del que parte de sus materiales aparecen en la zona occidental de la Hoja: Montaña de Guaza.

Montaña de Guaza es una extrusión traquítico-fonolítica que emitió potentes coladas y en menor proporción materiales de proyección aérea.

La Caldera del Rey es un maar doble, que perforó la Serie Basáltica Antigua y expulsó gran cantidad de materiales de proyección aérea mezclados con fragmentos de rocas preexistentes.

míticos, aluviones de pie de monte, rambla y barranqueras y playas cuaternarias levantadas.

Merecen destacarse los suelos que cubren gran parte de las coladas basálticas de la Serie III, entre Las Madrigueras y la playa de Las Américas. En estos suelos, aparecen cantos de rocas granudas de carácter subvolcánico, que diversos autores han interpretado como provenientes de un posible basamento plutónico, asimilable a los Complejos Basales que afloran en otras islas.

En la tabla 1 se han esquematizado los distintos episodios vulcano-estratigráficos de la zona de estudio, así como los distintos tipos petrológicos y su localización.

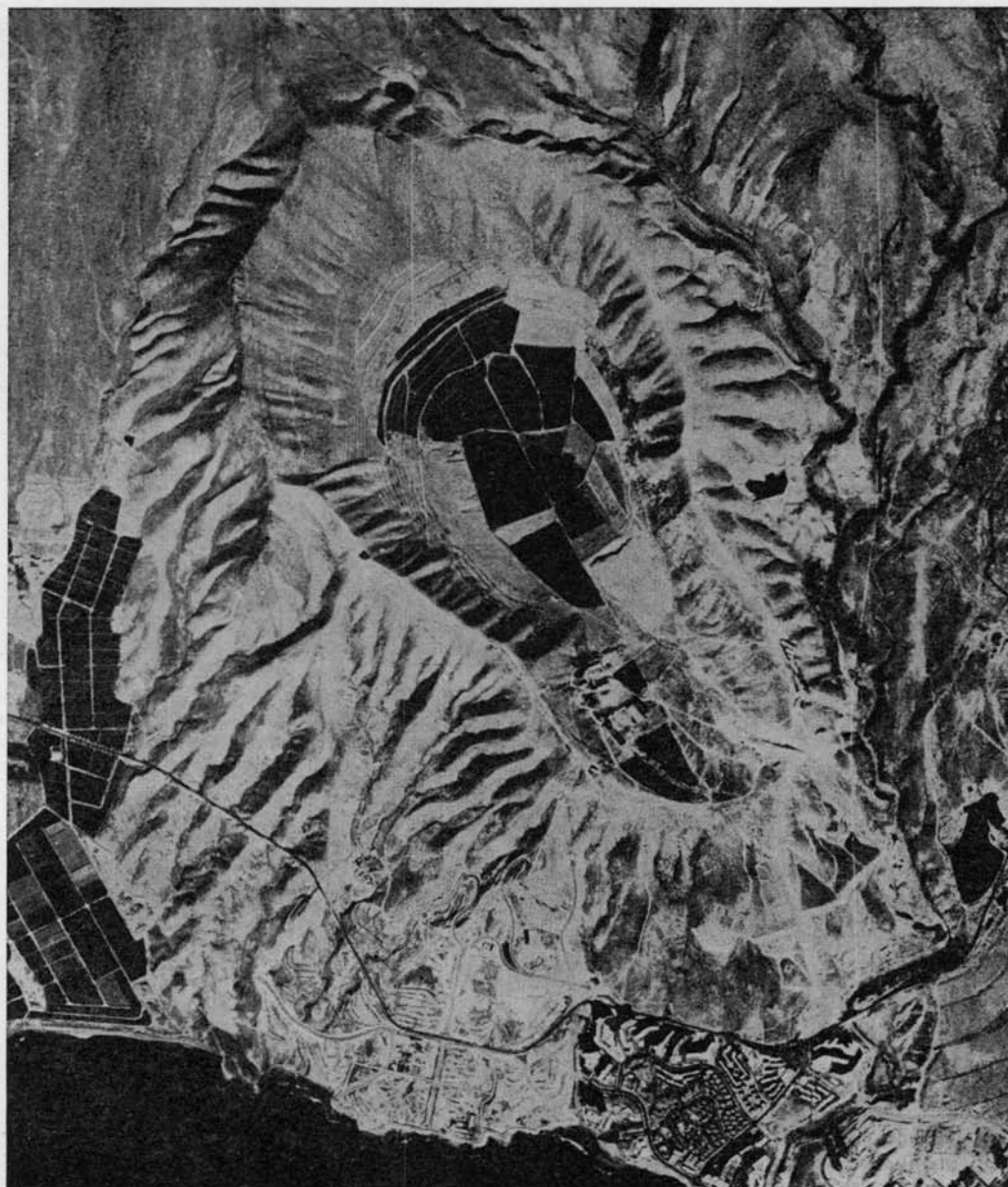


Fig. 2.—Fotografía aérea de La Caldera del Rey.



## Descripción geológica de la Caldera del Rey. Características generales de la erupción

El accidente volcánico denominado geográficamente Caldera del Rey (\*), es el resultado de la superposición de dos cráteres producidos por explosión y que rompieron a través del sustrato de materiales basálticos, de edad Mioceno-Plioceno, de la Serie Antigua en las laderas meridionales del Roque del Conde (fig. 2).

El origen de ambos cráteres o calderas parece estar en conexión directa con un mecanismo diatrémico provocado por erupciones freatomagmáticas de materiales sílicos.

A su vez, los caracteres morfológicos parecen indicar que ambos cráteres son dos maars de dimensiones diferentes.

La forma de doble anillo de la Caldera es debida a la superposición, en parte, de los maars. La formación del segundo, el más septentrional y mayor, destruyó la parte nor-este del primero, rellenando el fondo del mismo de cineritas que, además, se apoyaron sobre la media luna de la mitad suroeste no destruída, originando de este modo una discordancia angular, la cual puede apreciarse perfectamente en un corte artificial existente en el borde sur del primer maar, en el paraje denominado Casa de la Caldera (fig. 3).

El diámetro de este accidente volcánico, según la dirección NNE-SSO, es decir, según el eje mayor, es de 2.200 metros, de los cuales 750 metros pertenecen al primer maar y 1.450 metros al segundo, mientras que los diámetros perpendiculares al anterior son 675 metros y 1.100 metros para el primero y segundo maar respectivamente.

Los bordes de ambos maars quedan formados casi exclusivamente por los materiales de proyección aérea emitidos por ellos durante su formación, excepto la zona norte del segundo maar, la cual queda delimitada por un apilamiento de coladas basálticas horizontales de la Serie Antigua (Morro Meleñe y Morro Negro).

Durante la erupción de ambos maars no se emitió ningún tipo de coladas de lava. Únicamente se conservan en algunos puntos locales del circo restos de materiales de tipo aglomerático-ignimbritoide.

Los bordes de los maars son bajos, alcanzando unos 30 metros el primer maar y unos 90 metros el segundo respecto al fondo. El fondo es plano, aunque en el primer maar presenta una pequeña inclinación hacia el NNE. El fondo, en conjunto, no está, en su estado actual, apreciablemente por debajo del nivel general de la zona, y se encuentra relleno de aluviones y cultivado, razón por la cual la roca firme del sustrato no aparece expuesta.

Los materiales piroclásticos del anillo de la Caldera se encuentran bien estratificados, en espesores de pocos centímetros, y forman laderas con buzamiento suave ( $10^{\circ}$ - $15^{\circ}$ ) hacia el exterior (fig. 4). Sin embargo, como estos materiales se adaptaron en su caída a los relieves preexistentes, cuando se apoyan sobre los materiales basálticos de la Serie Antigua (Morro Negro, Morro Meleñe y ladera este del Barranco del Rey) aumenta el buzamiento de forma apreciable. El buzamiento de las laderas interiores es mayor, pero, en general, no supera los  $35^{\circ}$ .

En general, el buzamiento de las capas que forman las laderas externas se trunca al llegar al borde, es decir, las laderas interiores son una sección a través de las capas externas (fig. 5), y sólo en determinados lugares (zona



Fig. 3.—Discordancia angular en el borde sur del primer maar. Los materiales cineríticos (dcha. foto) del segundo maar se apoyan sobre los depósitos de tobas pumíticas (izqda. foto) del primer maar.



Fig. 4.—Materiales estratificados de La Caldera del Rey. En primer término se observa el buzamiento suave de los materiales, característico de los maars. En segundo término el buzamiento de los materiales aumenta debido a su adaptación al relieve preexistente.

(\*) Los nombres geográficos dados a algunos accidentes volcánicos en los archipiélagos atlánticos Hispano-portugueses, producen a veces cierto confusión terminológica. Tal es el caso del término "caldera" o "caldeira" incorporado a la literatura volcanológica internacional, el cual se aplica a cualquier depresión de cierta magnitud y de variado origen. Así, la Caldera del Rey no es en realidad una caldera volcánica s. s., sino dos cráteres de explosión superpuestos, los cuales originaron una gran depresión.

confluencia entre ambos maars) las capas rebasan el borde para buzar con mayor inclinación hacia el interior (ver figura 3). Posiblemente el borde inicial estaría constituido por ambos buzamientos de las capas, pero el posterior ensanchamiento del cráter, debido fundamentalmente a fenómenos erosivos y de colapso, destruyó las capas buzantes hacia el interior.

El hecho de que los materiales se encuentren bien estratificados, a pesar del carácter explosivo violento de este tipo de erupciones, se explica por la existencia de numero-

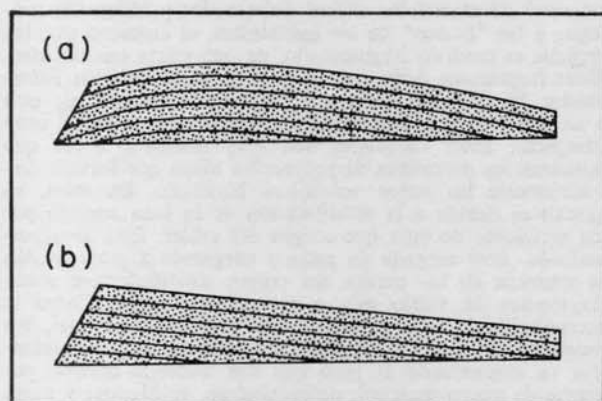


Fig. 5.—Esquema de una sección a través del borde de un maar. (a): la estratificación puede estar arqueada con buzamientos hacia el interior y exterior de las capas (ver fig. 3); (b): las capas buzantes hacia el interior pueden ser cortadas por fenómenos erosivos o de colapso. (Según Ollier, 1974.)

sas explosiones consecutivas, o bien distintas pulsaciones dentro de una explosión mayor. La inexistencia de señal alguna (paleocauces, discordancias, suelos, etc.) que pueda separar nítidamente distintas secuencias, hace pensar que las pulsaciones han tenido lugar probablemente muy seguidas en el tiempo.

Aunque, en general, todos estos materiales de proyección aérea se encuentran muy contaminados por cantos xenolíticos, las secuencias explosivas que formaron el primer maar, expulsaron un volumen mayor de bloques y cantos que el segundo. Dichos materiales xenolíticos son fundamentalmente basaltos característicos de los tipos de la Serie Antigua.

El tamaño de estos xenolitos varía entre pocos milímetros y aproximadamente un metro. A medida que aumenta el tamaño, disminuye el contenido, siendo su distribución muy caótica, aunque a veces, y siempre los de menor tamaño, llegan a formar pequeñas concentraciones e incluso niveles que forman laminaciones paralelas. El alejamiento del borde de la Caldera y el acercamiento a los niveles más altos de los materiales estratificados de proyección aérea produce una disminución, tanto en el contenido como en el tamaño de los cantos xenolíticos. Esta selección es lógica, puesto que los cantos más grandes, y por tanto más pesados, tenderán a caer cerca del cráter. Por otra parte, a medida que avanzan las pulsaciones explosivas el conducto de emisión va quedando más limpio de materiales del sustrato y, por tanto, las últimas explosiones, es decir, las que dan origen a las últimas capas, apenas expulsan ya cantos xenolíticos.

Es interesante resaltar la presencia en las cineritas del segundo maar de una facies de lapilli acreccionario, la cual llega a formar un nivel guía. Es obvio que este lapilli debe de provenir de la condensación del vapor de agua liberado durante la erupción. Sin embargo, el volumen de este vapor de agua no debió de ser muy grande, puesto que la potencia

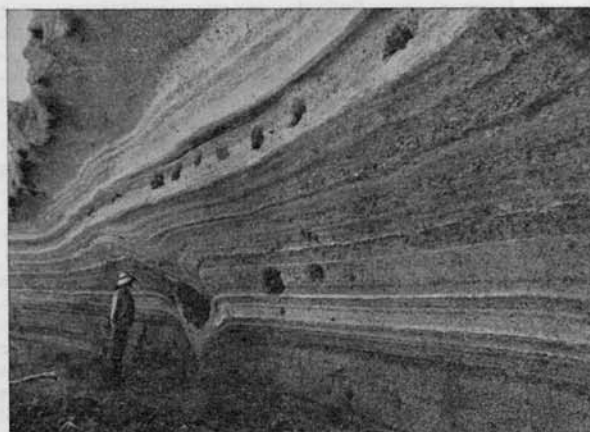


Fig. 6.—Estructura de impacto "bomb sag". Se puede apreciar la deformación que se produce en las capas subyacentes y suprayacentes al bloque impactante.

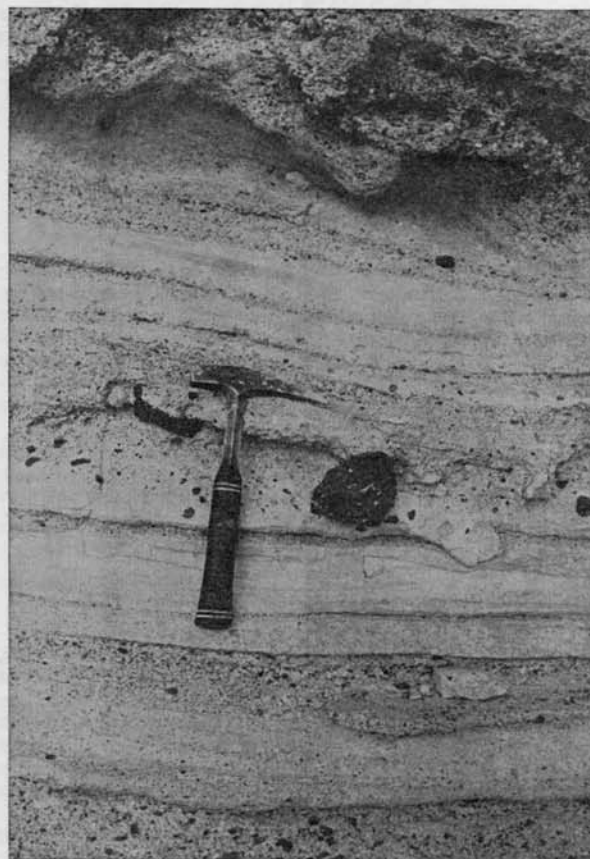


Fig. 7.—Detalle de estratificación gradada. Durante la caída de los materiales arrojados por cada pulsación explosiva se produce una selección por tamaños.

de esta facies es muy limitada, aunque adquiere una gran extensión superficial. El hecho de que no se formaran laares y depósitos de "base surge", corrobora esta teoría. Hernández-Pacheco, A. (comunicación personal), sugiere la presencia de agua adicional, la cual estaría formando un pequeño lago en el cráter del primer maar. Al hacer erupción el segundo maar, el agua de este lago originó de forma transitoria la masa de vapor de agua que se condensó como lluvia junto con el vapor de agua primario. La descripción más detallada del lapilli acrecionario se hará posteriormente.

Es frecuente que los bloques de cierto tamaño produzcan en su caída estructuras de impacto o "bomb sag" (fig. 6), provocando la deformación por compresión de las láminas o capas subyacentes. Las capas que se depositaron posteriormente a la caída del bloque, sufren en su acoplamiento cierta deformación, que se va amortiguando a medida que se van depositando nuevas capas. El hecho de que no todos los bloques presenten estructuras de impacto subyacentes puede explicarse por el rebote y posterior rodamiento del bloque impactante. De esta forma aparecerían cráteres de impactos sin los correspondientes bloques y bloques sin los correspondientes cráteres, como de hecho puede observarse en erupciones basálticas actuales.

Otra estructura también muy frecuente es la estratificación gradada producida por cada pulsación explosiva (fig. 7). Los materiales de distinto peso tenderán a depositarse con una gradación en cada nivel, de más grandes a más pequeños. Existe, por lo tanto, una doble estratificación: entre niveles diferentes, neta, producto de diferentes pulsaciones y dentro de un mismo nivel por selección de tamaños durante la caída.

El viento juega un papel importante en la deposición de estos materiales de proyección aérea. Pequeños cambios en la dirección del mismo producen estratificación cruzada, estructura que también es frecuente encontrar en estos depósitos.

## Descripción de las unidades de la Caldera del Rey

La Caldera del Rey, como ya se ha indicado, está constituida por dos maars imbricados (ver fig. 2). En el primer maar, cuyos materiales ocupan una menor extensión superficial, se han distinguido cartográficamente tres unidades (ver mapa geológico). En el segundo maar, cuyos materiales son los más abundantes y que ocupan mayor extensión superficial, cubriendo en parte a los más antiguos, se distinguen dos unidades.

A continuación, se describen en detalle cada una de estas unidades, si bien hay que hacer notar que cada unidad tiene caracteres de una cierta variabilidad de unos afloramientos a otros y que en la descripción ha sido necesario generalizar.

### Unidades del primer maar

El primer cráter, con un carácter de maar menos acusado, es el de menor tamaño y el que emitió un volumen mayor de bloques y cantos xenolíticos, incluyendo, además, los bloques de mayor tamaño (aproximadamente un metro). Los materiales emitidos por él ocupan una extensión superficial aproximada de 1,71 km<sup>2</sup> y forman depósitos estratificados de tobas pumíticas de carácter traquítico y/o fonolítico. Se pueden distinguir tres unidades.

La unidad inferior está formada por grandes costras de un material aglomerático caótico, de aspecto escoriáceo constituido por fragmentos generalmente alargados, en forma flameada, de fonolita y/o traquita masiva de color gris oscuro, en los que no se aprecian sino raramente cristales alargados feldespáticos. Los fragmentos están unidos entre sí por ma-

terial también sálico, pero menos masivo y más escoriáceo y de color gris claro, que en ciertas zonas presenta aspecto vacuolar de pómez.

Microscópicamente apenas se diferencian ambos materiales. Son muy porosos y no contienen sino microlitos feldespáticos en una matriz de aspecto sucio que parece vidrio en proceso de desvitrificación, ya que presenta anisotropía.

En algunos casos, y debido a la forma alargada de los fragmentos sálicos, presenta carácter ignimbrítico.

De todas formas, la estructura de esta unidad no es propiamente de carácter ignimbrítico, ya que aunque contiene "shards" de materiales vítreos deformados y alargados análogos a las "flamas" de las ignimbritas, el cemento que los engloba es también fragmentario, de una cierta escoriacidad. Estos fragmentos están soldados, y en parte también deformados. El conjunto, flamas y fragmentos escoriáceos, está a su vez, bastante soldado, constituyendo un material muy compacto. Estos caracteres son muy similares a los que muestran los materiales de proyección aérea que forman frecuentemente los conos volcánicos basálticos. En éstos, su génesis es debida a la solidificación de la lava emitida por los surtidores de lava que surgen del cráter. Esta lava pulverizada, muy cargada de gases y surgiendo a gran presión se acumula en los bordes del cráter, solidificándose como fragmentos de vidrio más o menos escoriáceos. Como la acumulación es más rápida que la solidificación total, los pingajos o fragmentos más o menos plásticos, lo hacen mientras va aumentando el peso que van teniendo encima por aporte de nuevo material, deformándose, soldándose y hasta fluyendo en parte.

La unidad media ocupa el primer lugar en volumen y extensión entre los materiales emitidos por el primer maar.

Está constituida fundamentalmente por materiales pumíticos (tobas pumíticas) formados por fragmentos de pómez sálico adosados unos a otros sin apenas matriz intersticial, cantos xenolíticos de basalto y, en menor proporción, de cantos sálicos. El pómez suele estar alterado, presentando en este caso un color amarillo intenso característico. La mayor parte de los cantos poseen un tamaño entre pocos milímetros y dos o tres centímetros, esporádicamente hay fragmentos de pómez mucho mayores, entre 20 y 30 centímetros.

La alteración del pómez puede ser total, presentando toda la masa del pómez color amarillo, o parcial, en cuyo caso el material amarillo de alteración se presenta periféricamente en los fragmentos y con un espesor que varía según el grado de alteración.

En muchos casos, sobre todo en fragmentos mayores, el pómez es un verdadero tejido de hilos de vidrio, muy finos, verdaderos "cabellos de Pelé", que dejan grandes espacios huecos entre su malla. En otras ocasiones, el pómez, pasa por pérdida de porosidad a masas ya compactas de vidrio que han perdido los caracteres propios del pómez.

Estos materiales se encuentran normalmente estratificados, pero el espesor de los estratos y el contenido de materiales xenolíticos varían según su posición respecto al borde del maar, tal y como se explicó anteriormente.

En la discordancia angular que aparece en la trinchera junto a la Casa de la Caldera, esta unidad se encuentra bien representada. Son unas alternancias de pequeños espesores (de 1-1.5 m. a 20-30 cms.) de tobas pumíticas de carácter traquítico y/o fonolítico de tonos amarillentos. En menores proporciones hay espesores menores de materiales de menor granulometría, pero sin llegar a tener carácter cinerítico.

En estos materiales hay bastante cantidad de fragmentos, predominantemente basálticos.

La unidad superior está formada por tobas pumíticas de colores muy claros. Se encuentra muy bien estratificada y está afectada por una erosión eólica muy característica.

Esta unidad es muy difícil de separar de la unidad anteriormente descrita, ya que ambas son muy parecidas y no existe diferenciación neta, sino que de una a otra hay un paso gradual al ir aumentando la cementación de los ma-



teriales. Por ello, ha sido posible diferenciarla muy localmente en la zona occidental de la Caldera.

Las tobas pumíticas que forman las unidades media y superior del primer maar están formadas por fragmentos de pómez unidos por una matriz cinerítica que a veces es casi inexistente y en otras llega a ser bastante abundante. Presentan inclusiones xenolíticas de basaltos y cantos sálicos, pero siempre en menor proporción. Algunas veces los fragmentos basálticos parecen haber sido alcalinizados por el magma sálico, ya que presentan en la matriz gran cantidad de material intersticial, probablemente ceolitas, puesto que se tiñe fácilmente con cobaltinitrito.

El pómez presenta textura hialina o vítrea, muy porosa, con las vacuolas estiradas en el sentido de fluidez. Contiene algunos fragmentos minerales, siendo frecuentes los de sanidina y anfíbol.

En ocasiones el pómez no es totalmente vítreo, sino que tiene una cristalización incipiente de microlitos de sanidina orientados según el flujo, pasándose de estas zonas con cristalizaciones a otras prácticamente vítreas.

Otras veces, se pasa de zonas formadas por microlitos de sanidina en textura traquítica, a zonas en las que sólo destacan algunos microlitos empastados en una matriz de una birrefringencia muy baja en la que no se distinguen todavía bordes de cristales y que podría haberse originado por desvitrificación. Este material tendrá también probablemente composición de feldespato alcalino.

Otras veces los microlitos no tienen bordes muy definidos, sino que se disponen agrupados en haces o fibras adquiriendo unas texturas muy características.

Microscópicamente la matriz cinerítica no presenta estructura cristalina, pero no llega a ser totalmente isótropa, conteniendo infinidad de diminutos fragmentos cristalinos, esencialmente de sanidina.

Cuando estos materiales se encuentran alterados, la alteración es fundamentalmente una carbonatación. La matriz se sustituye por una masa micrítica de carbonatos, con zonas en las que la cristalización de los carbonatos se hace mayor.

### Unidades de segundo maar

El segundo cráter, con características de maar más acusadas, fue el causante del mayor volumen de emisión de materiales de proyección aérea, ocupando éstos una extensión superficial de 2,74 km<sup>2</sup>.

Los materiales que forman este maar son fundamentalmente cineritas y tobas heterogéneas.

Cartográficamente se han distinguido dos unidades: la unidad inferior, constituida esencialmente por cineritas, y la unidad superior, formada por una serie de niveles alternantes de cineritas-tobas heterogéneas.

La unidad inferior está formada por materiales muy monótonos, de tipo cinerítico de grano muy fino, muy compactados, de tonos gris-ocre-blancuzco y que apenas contienen fragmentos xenolíticos.

Las inclusiones son fragmentos diminutos de basalto (hasta 3-4 mm.) y esporádicos fragmentos de pómez (hasta 0,5 centímetros) alterados totalmente al material amarillento.

La potencia total de esta unidad está comprendida generalmente, entre 0,75 centímetros y un metro, y ocupa una gran extensión superficial, llegando a formar un nivel guía que sirve de base para separar los materiales de los dos maars.

En general, está formada por paquetes o espesores de pocos centímetros (0,75 m. a 10 cms.). La superficie entre ellos es mucho menos neta que entre los materiales del primer maar.

Microscópicamente lo se observan más que algunas acículas feldespáticas destacando en un material isótropo.

En estos materiales cineríticos aparece el mayor espesor de la facies de lapilli acreccionario.

En el afloramiento de la casa de la Caldera estos materiales dan lugar a una discordancia angular (anteriormente citada) al apoyarse sobre los materiales de la unidad media del primer maar. Aquí, las características de esta unidad varían, puesto que los materiales se presentan en un depósito acuñado y adquieren una potencia mayor en las proximidades de la discordancia.

En este afloramiento aparecen unas estructuras muy curiosas que hemos denominado estructuras esferoidales y que se describirán con posterioridad.

La unidad Superior es la más representativa de la Caldera del Rey. En conjunto, puede considerarse de extensión regional, pues es la unidad de mayor potencia y extensión de ambos maars (fig. 8). Forma, además, la mayoría del borde del segundo maar.

Se compone de una serie de niveles recurrentes entre 0,5 y un metro, excepcionalmente potencias mayores, formadas por capas alternantes de cineritas y tobas heterogéneas.

La estratificación de estos niveles está muy acusada, debido

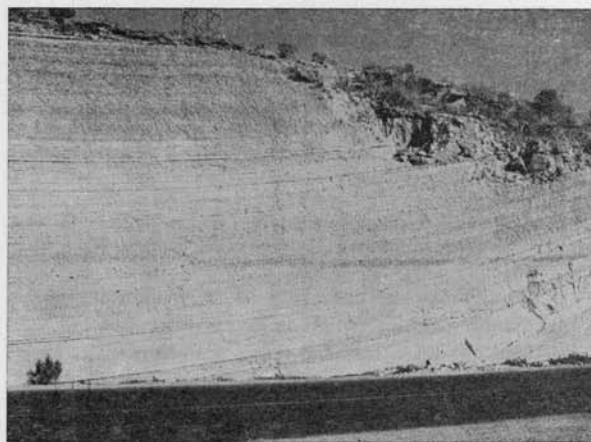


Fig. 8.—Alternancias de cineritas y tobas heterogéneas de la unidad superior del segundo maar (km. 108 de la carretera C-822 de Santa Cruz de Tenerife a Guía de Isora por el sur).

al comportamiento diferencial frente a la erosión de las capas de cineritas y tobas heterogéneas.

Las inclusiones que presenta son fundamentalmente basaltos de la Serie Antigua, pómez y fragmentos sálicos. El pómez a veces se encuentra sin alterar, presentando en este caso tonos gris-verdosos, a diferencia de en las demás unidades, que generalmente estaba alterado presentando colores amarillentos.

Dentro de cada nivel, los fragmentos basálticos predominan en la base, mientras que al ir ascendiendo lo que va predominando es el pómez, para terminar generalmente en una capa cinerítica bastante limpia de fragmentos xenolíticos y conteniendo en su techo lapilli acreccionario.

Conviene resaltar que aunque la unidad cinerítica que forma la base de esta unidad contiene el máximo espesor de lapilli acreccionario, éste, sin embargo, también aparece en los sucesivos techos cineríticos de los niveles recurrentes anteriormente citados, por lo que cabe suponer que después de cada pulsación explosiva, representada por cada nivel, hubo pequeños chaparrones locales que originaron estas estructuras.

En algunas ocasiones las cineritas contienen abundantes

fragmentos basálticos, habiendo a veces una transición insensible desde cineritas propiamente dichas a tobas heterogéneas.

En estas cineritas cargadas de fragmentos líticos, son frecuentes los cantos sálicos (traquitas y pumitas), cuya génesis (comagmática o xenolítica) es discutible.

Nosotros pensamos que al menos las pumitas pueden considerarse comagmáticas. En general estas pumitas presentan gran cantidad de cristales de sanidina y anortosa, a'otriomorfos, en una matriz vítrea, de la que parecen estarse formando también cristales feldespáticos. En la matriz destacan también cristales en formación de biotita y cristales alargados (de acículas a microlitos) de augita y anfíbol.

Microscópicamente, estas cineritas también presentan mayor cantidad de fragmentos minerales en la matriz afanítica. Así destacan diminutas acículas feldespáticas, granitos de opacos y más esporádicamente aparecen fragmentos de minerales, algunos claramente xenolíticos (plagioclasa y augita) y otros probablemente comagmáticos (cristales incipientes de anfíbol y biotita).

También aparecen fragmentos basálticos y sálicos de dimensiones muy reducidas, apreciándose, en algunas, manchas incipientes de alteración a carbonato. En otros más alterados, está toda la superficie completamente plagada de pequeños cristales de carbonato.

Estas cineritas contienen cantos de traquita máfica semejantes al dique de la misma naturaleza de la Serie I, lo cual indica, sin lugar a dudas, el carácter xenolítico de dichos fragmentos traquíticos.

Las tobas heterogéneas están constituidas por fragmentos de pómez, cantos sálicos y xenolitos basálticos en una matriz cinerítica.

Se diferencian de las tobas pumíticas descritas en las unidades del primer maar por las siguientes características:

- a) Disminución del contenido en fragmentos de pómez.
- b) Aumento del contenido en fragmentos líticos.
- c) Aumento de la cantidad de matriz cinerítica.
- d) Mayor grado de compactación de la matriz.

En realidad, hemos descrito los tipos extremos, pero hay una transición continua de toba pumítica a toba heterogénea.

Las proporciones de estos distintos tipos de fragmentos varían de unas muestras a otras, así, una muestra cogida en la base de la unidad tiene un porcentaje aproximado de 27% de cantos basálticos y un 73% de cantos sálicos y pumíticos, en tanto que una muestra recogida en la misma localidad, pero en una zona superior del corte, sólo tiene un 15% de cantos basálticos y un 85% de cantos sálicos y pumíticos.

### Lapilli acreccionario

En los materiales cineríticos estratificados, cuya pertenencia se limita exclusivamente al segundo maar, es frecuente encontrar unas estructuras esféricas del tamaño de un guisante, cuyas características corresponden a lo que en la literatura se denomina corrientemente "lapilli acreccionario", aunque también se conoce con diversos términos: chalozoidites, volcanic-pisolites, mud pellets, volcanic hailstones, mud balls, tuff balls, mud-drops, bird's eye concretions, mud raindrops, fossil raindrops, versteinerte Regentropfen, etc. (fig. 9). A esta variedad de nomenclatura le corresponde una diversidad de opiniones acerca del mecanismo de formación de tales materiales (Dieni y Spagnulo, 1964).

En la unidad inferior del segundo maar, formada únicamente por cineritas, aparece el mayor volumen de estas estructuras. Aunque se encuentran dispersas por toda la masa cinerítica, también se concentran en niveles en donde el espesor de estas estructuras llega a alcanzar 30-40 centímetros.

También aparecen en los sucesivos niveles cineríticos de la unidad superior del segundo maar, pero sin llegar a alcanzar las concentraciones anteriormente citadas.

La extensión lateral de estas capas suele limitarse al ámbito de La Caldera, sin embargo, aparece algún afloramiento

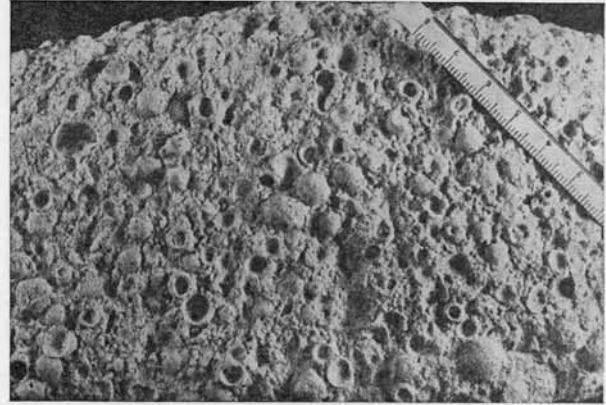


Fig. 9.—"Lapilli acreccionario". La alteración de la roca caja cinerítica produce el vaciado de los núcleos de los lapillis, originando pequeñas depresiones crateriformes en la superficie rocosa.

a cierta distancia (Barranco del Verodal), que contiene, asimismo, lapilli acreccionario y que ha servido para situar estratigráficamente la Caldera del Rey respecto a otras manifestaciones volcánicas de la zona, puesto que estas estructuras parecen ser exclusivas de la Caldera del Rey y no aparecen en otros lugares de este área meridional de la isla.

En el archipiélago canario, sólo ha sido citado lapilli acreccionado en la Isla de El Hierro (Pellicer, 1977).

Se han efectuado 118 medidas del diámetro de estas estructuras, sin embargo, éstas no se han realizado con toda la exactitud necesaria, puesto que se saldría fuera del límite del presente estudio. En una medida cualificada habría que haber tenido en cuenta la presencia de dos o tres ejes, deformaciones, planos de corte de la medida, etc.

La mayoría de lapilli acreccionario se encuentra entre 4 y 10 milímetros. La media de los diámetros es de 6,76 milímetros, siendo de 3,1 milímetros el de menor tamaño encontrado y de 14 milímetros el de mayor.

Macrosópicamente estas estructuras son de forma esférica. Tienen un núcleo esférico mayor que la mitad del diámetro y compuesto por una masa cinerítica poco estructurada y de grano grueso y un borde, asimismo cinerítico, de grano mucho más fino, formado por sucesivas capas concéntricas y distinguible por un cambio de tonalidad (fig. 10).

Algunos presentan un núcleo con un fragmento de mayor tamaño. Lapilli acreccionario fragmentado aparece mezclado con otros sin fragmentar, siendo las finas capas externas del borde los fragmentos que con mayor frecuencia aparecen rotos.

A veces este lapilli aparece con las capas más externas del borde fuertemente oxidadas (color marrón oscuro), confiriéndoles un aspecto muy característico. Esta oxidación es fácilmente explicable debido a la extremada finura de grano de las últimas envueltas.

La corteza, que generalmente está formada por sucesivas capas concéntricas, a veces no presenta esta textura, apareciendo entonces una sola corteza, claramente distinguible por su tonalidad, mayor compacidad y menor tamaño de grano rodeando al núcleo.

La alteración de la roca que contiene estas estructuras



produce el vaciado de los núcleos, material menos compactado, más heterogéneo y, por lo tanto, más fácilmente disgregable, dejando únicamente las cortezas. Las depresiones crateriformes resultantes dan a la superficie rocosa un aspecto muy singular.

Estas estructuras están generalmente redondeadas, lo que indica que la roca encajante no ha sufrido importantes procesos de compactación, puesto que éstos, de existir, hubieran afectado a las estructuras, al ser sinérgicas con la roca.

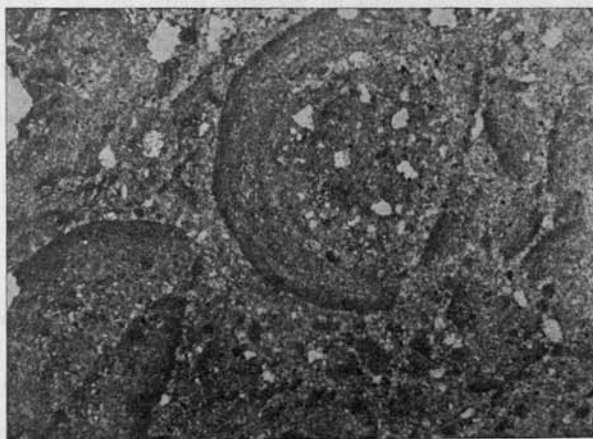


Fig. 10.—"Lapilli acreccionario". Texturalmente se distingue un núcleo esférico heterogéneo mayor que la mitad del diámetro y un borde formado por sucesivas capas concéntricas de grano mucho más fino (luz natural,  $\times 11.5$ ).

A veces, aparecen en la cinerita pequeños niveles en forma de lentejones muy compactos, de color gris-marrón, formados por acumulación de lapilli acreccionario. La matriz, en este caso, es semejante al material de las cortezas, distinguiéndose estas estructuras por la aparición de núcleos de un material cinerítico más grosero, menos compactado, no estructurado y más claro. Estos niveles se encuentran aplanados en la dirección de estratificación.

En general, los núcleos siempre tienen las mismas características, sin embargo, las cortezas pueden dividirse en dos grupos: aquellas que tienen el mismo aspecto que el núcleo (generalmente color), pero que están más compactadas y de grano más fino, y en las que generalmente pueden observarse sucesivas capas, y aquéllas otras mucho más compactadas, de grano mucho más fino y de un color más oscuro, siendo en este caso indistinguibles las sucesivas capas de las cortezas.

En el primer tipo es donde aparecen, a veces, las últimas capas oxidadas, mientras que las segundas aparecen en los lentejones anteriormente citados.

Microscópicamente no difieren mucho de la descripción anterior (macroscópica). Composicionalmente no difieren tampoco de la cinerita que las aloja, estando compuesto cada lapilli de un núcleo formado por material clástico volcánico, fundamentalmente fragmentos sálicos, de grano más grueso, si estructurar y rodeado de finas capas concéntricas de grano mucho más fino.

La medida de grano decrece apreciablemente del núcleo a las capas externas. La medida y composición del núcleo es similar al de la cinerita que contiene al lapilli.

Las sucesivas capas del borde, suelen tener estratificación gradada, interrumpida por una ruptura, y la parte basal más gruesa de la capa siguiente. Los cambios en la medida de grano y en el contenido de minerales máficos produce, a veces, un bandeo concéntrico en muchos lapillis.

El origen de estas estructuras es un tema muy discutido. Existen varias hipótesis sobre su formación: Mugge (1893) y Williams (1921) sugieren que se formaron por precipitación de material soluble alrededor de un núcleo. Macdonald (1949) y Wentworth y Macdonald (1953), piensan en acreción sobre el suelo al rodar por suaves pendientes.

Durante erupciones volcánicas históricas se ha visto formarse lapilli acreccionario volcánico como resultado de varios procesos:

1. Acreción sobre el suelo de ceniza fresca alrededor de núcleos soplados por el viento o rodando por pendientes (Stearns, 1925).
2. Absorción por ceniza fresca del agua de las gotas cayendo durante una ligera lluvia (Scrope, 1829 y Lacroix, 1904).
3. Acreción de ceniza húmeda en una nube eruptiva para formar lluvia de mud pellets (lapilli acreccionario) (Perret, 1913 y Stearns, 1925).
4. Formación en medio acuoso por suave agitación de núcleos en contacto con cenizas volcánicas no consolidadas.

El hecho de que la mayoría de las cortezas de los lapillis están formadas por sucesivas capas concéntricas de grano extremadamente fino, no exista clasificación de tamaño, aparezcan entremezclados fragmentos rotos con otros intactos y que se encuentren en capas con no muy acusada estratificación, nos inclina a pensar en un origen similar al propuesto por Moore y Peck (1962).

Dichos autores sugieren el origen siguiente:

Nubes de cenizas volcánicas ricas en vapor de agua, generalmente formadas durante erupciones freáticas, se levantan a gran altura, el posterior enfriamiento causa la condensación del vapor de agua, esta condensación provoca rápidamente el aglutinamiento de la ceniza en la nube, formando núcleos de lapilli acreccionario. La rapidez de este proceso se refleja en la textura del núcleo no estructurado y de grano grueso. En el descenso de este embrión húmedo se van añadiendo nuevas partículas tangencialmente, dando lugar a la corteza.

El decrecimiento en el tamaño de grano del núcleo al exterior, está probablemente causado por el progresivo incremento de la temperatura en las partes bajas de la nube. Las altas temperaturas reducen la humedad relativa y producen un progresivo decrecimiento en la cantidad de humedad, que se condensa sobre la superficie de los embriones descendentes. Esto produce, como consecuencia, una progresiva y más seleccionada acreción de cada vez más finas partículas de ceniza.

La formación de sucesivas capas concéntricas, a su vez gradadas, se explica por el resultado del paso a través de un número de sucesivas envueltas sedimentarias de la nube, causada por una rápida sucesión de explosiones volcánicas o de repetidos movimientos del lapilli por corrientes de turbulencia en la nube.

### Estructuras esferoidales

En la unidad inferior cinerítica del segundo maar, y asociadas al lapilli acreccionario, aparecen unas estructuras, asimismo redondeadas, pero de mayor tamaño, que hemos denominado de forma genérica "estructuras esferoidales". El interés de estas estructuras radica en que no aparecen citadas en materiales volcánicos del archipiélago canario. Tampoco se han citado en la bibliografía sobre este tipo de materiales (cineritas), de ahí que se haya realizado un pequeño estudio sobre ellas.

No se ha encontrado en la literatura una denominación específica para estas estructuras esféricas, pues si bien por su tamaño podrían estar incluidas en lo que algunos autores (Shieferdecker, 1959) han denominado lapilli acreccionario, esferolitos o volcanic mud-balls, no se les puede denominar de este modo, puesto que no presentan estructura en capas acreccionadas, característica ésta de los verdaderos lapilli acreccionarios o pisolitos.

Se presentan fundamentalmente con formas esféricas muy perfectas, con un núcleo más oscuro y compacto y una serie

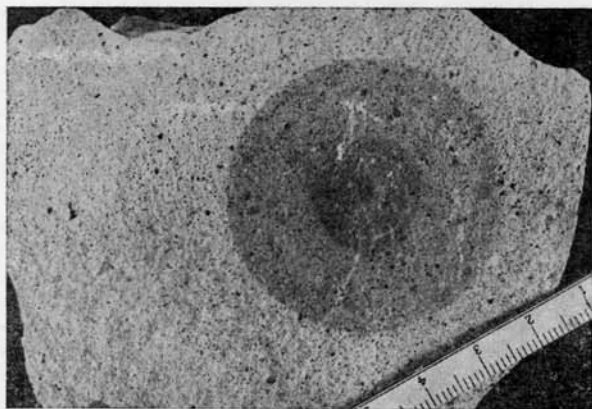


Fig. 11.—“Estructura esférica” en cinerita. Su gran esfericidad y su constitución: núcleo compacto oscuro y sucesivas aureolas concéntricas o “frentes de difusión” cada vez de tonos más claros, son sus principales características morfológicas.

de aureolas concéntricas que varían en número de unos ejemplares a otros (fig. 11): la zona oscura central, a su vez, puede incluir otra zona más oscura y más compacta. Lo más normal es encontrar un núcleo oscuro y muy compacto y sucesivas aureolas cada vez de tonos más claros, menos compactadas y con la misma textura que la roca cinerítica encajante, pero perfectamente distinguible. El núcleo suele presentar fractura concoide.

A veces el núcleo central viene determinado por un fragmento de pómez alterado totalmente a un material amarillento.

Lapilli acreccionario aparece tanto en el núcleo como en las aureolas de estas estructuras. A veces este lapilli se encuentra en la zona de transición núcleo-aureola, en este caso, puede comprobarse cómo la parte del lapilli que se sitúa en el núcleo ha sufrido el “frente de difusión”, presentando un color más oscuro, mientras que la parte situada en la aureola aparece con un color más claro.

Este hecho confirma que estas estructuras han sido post-singénicas, tanto a la roca caja (cinerita) como al lapilli acreccionario.

Macroscópicamente lo único que diferencia al núcleo de las aureolas es su compactidad y color, puesto que el aspecto o textura es similar a la roca caja, apareciendo, a su vez, partículas diminutas de pómez y basalto.

Algunas veces, estas estructuras se presentan con formas elipsoidales, sin embargo, siguen presentando un núcleo y aureolas. En este caso, se presentan formando un pequeño nivel, siguiendo la dirección de la superficie de estratificación (fig. 12).

La alteración de la cinerita caja produce la disgregación de estas estructuras en bolas, apareciendo éstas sueltas sobre el terreno. Los planos de fisuración (descamación esférica) se sitúan periféricamente a los núcleos más compactos, dando

lugar a estas bolas que dejan al desprenderse unos moldes perfectos.

Aunque no se ha hecho un estudio sistemático de estas estructuras sobre el terreno, en cuanto a medidas, disposición, etc., sí se ha efectuado un estudio de las mismas en las muestras recolectadas.

El diámetro de los núcleos se encuentra entre 15 y 25 milímetros, siendo la media de los mismos de 18,8 milímetros, con una media de 8,2 milímetros, éstas generalmente se van ensanchando a medida que van siendo más externas. Las bolas sueltas tienen un diámetro medio de 28,2 milímetros.

Microscópicamente no se perciben apenas diferencias, sólo se distinguen el núcleo de las aureolas por un cambio de tonalidad, más oscuro hacia el núcleo.

Dentro del núcleo puede aparecer lapilli acreccionario, apreciándose éste por el borde más compacto y el núcleo con sus acículas feldespáticas y granitos minerales.

Con objeto de poder establecer posibles diferencias de quimismo entre el núcleo, aureolas y roca caja de estas estructuras, a fin de determinar su posible origen, se han realizado tres análisis químicos de las tres zonas anteriormente citadas.

En la figura 13 se ha reflejado gráficamente la variación en el contenido de los distintos óxidos en tanto por ciento del núcleo a la roca caja en estas estructuras.

Puede observarse que las diferencias geoquímicas más importantes son un fuerte incremento de CaO y CO<sub>2</sub> hacia el núcleo, mientras que la mayoría de los demás elementos sufren una disminución en su contenido. P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, MnO y FeO mantienen equilibrados sus bajos contenidos. Es de destacar también el fuerte decrecimiento en SiO<sub>2</sub> y Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> hacia el

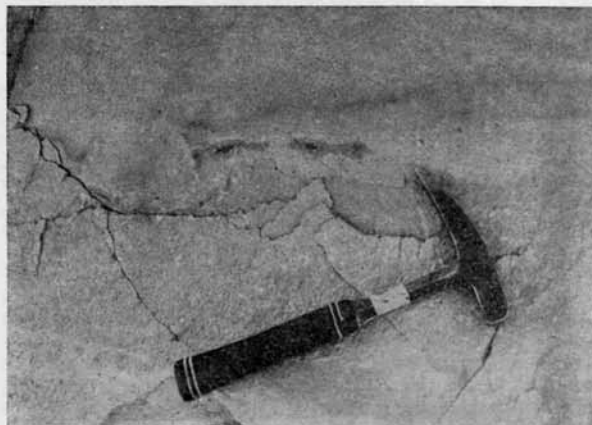


Fig. 12.—La “estructura esférica” a veces pierde la esfericidad y se encuentra con forma elipsoidal, sin embargo, el núcleo y las aureolas persisten. En este caso estas estructuras se presentan alineadas formando un pequeño nivel.

núcleo. En definitiva, del núcleo al material periférico de la bola existe una mayor saturación (reflejado en el contenido de SiO<sub>2</sub> y de nefelina normativa), mayor alcalinización (reflejado en el contenido de Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O y albita y anortita normativa) y mayor oxidación (reflejado en la relación Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/FeO).

El origen de estas estructuras, postdeposicionales a la roca cinerítica que las contiene, parece encontrarse en un proceso de difusión originado por un “núcleo perturbador” (modelo de perturbación puntual) (Ordóñez, comunicación personal).

El proceso se iniciaría a partir de una anomalía geoquímica más o menos puntual, en el centro de la esfera. Esta

anomalía pudiera estar representada por cualquier discontinuidad física y/o química: fragmento de pómez, fragmento de lava sálica, burbuja de agua o gas, etc. En relación con esto, únicamente se han encontrado algunos fragmentos de pómez nucleando a estas estructuras, lo que no implica que estos podrían ser los únicos que pudieran originarlas.

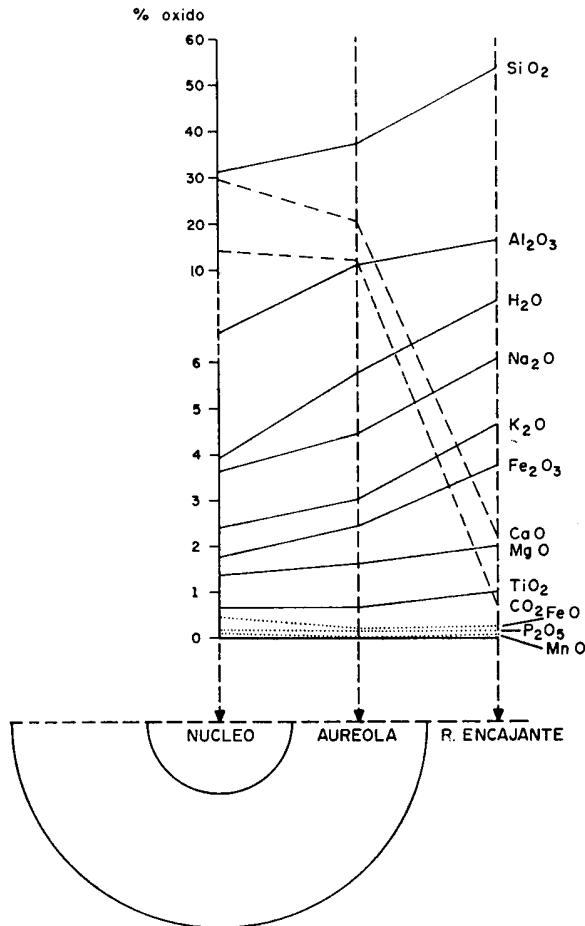


Fig. 13.—Diagrama de variación en el contenido de elementos mayores (% en óxido) del núcleo a la roca caja en las estructuras esféricas.

A partir de este núcleo perturbador, se produciría un flujo de difusión mediante el cual la fase silicatada saldría del sistema (esfera), mientras que la fase carbonatada entraría, provocando una progresiva carbonatación del núcleo.

Procesos de auto-stopping o autofrenado en el flujo iónico producirían las bandas de difusión que aparecen rodeando al núcleo. Estas zonaciones pudieran también producirse por aporte selectivo de distintos iones. En cualquier caso, en estos fenómenos cinéticos de transporte de componentes, bien a través de procesos de difusión o de infiltración, siempre se tiene una zonación asimilable a la zonación metasomática.

Cuando el gradiente del flujo iónico es equipotencial, a partir del núcleo se producirían formas esféricas con aureolas concéntricas, si el flujo es inequipotencial, aparecen las formas elipsoidales.

La zonación metasomática se debería, probablemente, más

que a una difusión de iones a través de las estructuras cristalinas, a un proceso de infiltración metasomática de una fase fluida (probablemente gaseosa).

### Cantos pertenecientes a las tobas

Tanto en las tobas pumíticas como en las tobas heterogéneas aparecen una serie de fragmentos rocosos, unas veces claramente xenolíticos, como son los basaltos de la Serie Antigua, otras veces claramente cogenéticos, como son los fragmentos de pómez, y en otras ocasiones de origen dudoso, como es el caso de los cantos sálicos.

Respecto a los basaltos xenolíticos se repiten los tipos existentes en la Serie Antigua. Se han visto también algunos fragmentos de basaltos plagioclásicos o traquibasaltos, con microlitos de plagioclasa en una matriz vítrea con infinidad de amígdalas redondeadas y alargadas que recuerdan las texturas propias de rocas submarinas y que no se han encontrado nunca en las Series Antiguas.

Los fragmentos sálicos pertenecientes a la Serie Antigua son más escasos, ya que sólo aparecen como diques y están constituidos por microlitos de feldespato en textura traquítica. También hay algunos con fenocristales de anortosa en matriz con microlitos de feldespato alcalino.

Tanto en las tobas pumíticas como en las heterogéneas aparecen también abundantes cantos sálicos con diversas texturas. Los más frecuentes son porfídicos con fenocristales de anortosa, anfíbol y augita en matriz traquítica. Otras veces presentan texturas traquíticas, sin fenocristales.

El hecho de ser rocas sálicas, de análogo quimismo al de las cineritas y tobas, hace difícil discernir si se trata de xenolitos o podrían ser comagmáticos. La escasez de rocas sálicas en la Serie Antigua inclina a suponer que la mayor parte de los cantos sálicos son comagmáticos.

### Cantos de pómez.

#### Fenómenos de inmiscibilidad

Los cantos de pómez tienen siempre las mismas características, tanto los que pertenecen a tobas pumíticas como los de las tobas heterogéneas. En general, son de pequeño tamaño (milimétrico y centimétrico), aunque a veces hay fragmentos de pómez mayores. En los fragmentos de gran tamaño es frecuente que existan fenómenos de inmiscibilidad. Presentan bandas o "schlieren" de distinta tonalidad, de negro a gris verdoso oscuro. Microscópicamente se observa que estas bandas tenían distinto contenido en volátiles, ya que se diferencian, sobre todo, en cantidad de vacuolas y también en distinto tamaño de los microlitos.

Las bandas de mayor contenido en volátiles, con mayor cantidad de vacuolas, presentan químicamente mayor contenido en elementos alcalinos:  $\text{Na}_2\text{O}$  y  $\text{K}_2\text{O}$ .

Este fenómeno de inmiscibilidad en pequeñas bandas y manchas estiradas por fluidez se repite frecuentemente en los términos intermedios y sálicos de las series volcánicas de las Canarias (series alcalinas oceánicas).

### Serie basáltica antigua

Los materiales basálticos (Serie I), que forman el borde norte de la Caldera del Rey, y posiblemente todo el sustrato de la misma, presenta las características propias de la Serie Basáltica Antigua, es decir, se presentan en apilamientos de coladas de poco espesor (1-3 m.), dispuestas más o menos de forma subhorizontal. Aquí se presentan con un buzamiento suave hacia el suroeste. Se encuentran atravesadas por diques subverticales de potencias no superiores a un metro, concretamente en este borde, aparecen dos diques



basálticos y otro sálico con direcciones aproximadas NNE-SSO.

Son basaltos típicos de las series alcalinas, y en ellos se encuentra gran variación de tipos petrográficos.

Los más frecuentes entre los porfídicos son: basaltos olivínico-augíticos, basaltos augíticos y basaltos plagioclásicos, con fenocristales de los minerales citados, en una matriz microcristalina con augita, plagioclasa y opacos. El olivino, cuando existe, está alterado a iddingsita o a productos serpentínicos y son frecuentes las amígdalas de ceolitas y carbonatos.

Entre los tipos no porfídicos, son muy abundantes los microcristalinos, con microlitos de plagioclasa, augita y opacos intersticiales, siendo la plagioclasa el mineral más abundante.

El dique sálico es una traquita máfica, porfídica, con grandes fenocristales de plagioclasa corroídos por la matriz, fenocristales de anfíbol y de augita titanada.

Todos estos fenocristales contienen abundantes inclusiones de apatito. La matriz está formada por microlitos de feldespato alcalino y microlitos de anfíbol orientados fluidalmente y que dejan en los intersticios un material isotrópico de tonos amarillentos, que es el mismo material que rellena los espacios corroídos de la plagioclasa. También contiene la matriz cristalitas de opacos, algunos llegan a tener tamaño de fenocristal.

Estos mismos tipos petrográficos se encuentran en los xenolitos de la Caldera, muy abundantes en las tobas heterogéneas.

### Unidades adyacentes (Ash Flow pumíticos)

Son unos depósitos tobáceos, que debido a su proximidad a la Caldera del Rey son asimilables en principio a ella (de hecho, así aparecen en la cartografía geológica existente: 1:100.000, 1:50.000 y 1:25.000), sin embargo, al estudiarlos en detalle se observa que presentan características muy diferentes de los materiales emitidos durante la formación de los dos maars, además de no formar parte en ningún momento del ámbito de la Caldera, es decir, no constituye parte de ninguno de los bordes de la misma.

Estos materiales presentan problemas en cuanto a su significado. La cuestión radica en considerarlos como originados en las explosiones de estos maars, o considerarlos como originados en alguno de los grandes ciclos eruptivos sálicos Plioceno que ocurrieron en la isla (formación de Las Cañadas, extrusiones sálicas de las vertientes meridionales de la isla, etc.).

Aparecen en dos afloramientos distintos: dos pequeños cerros en el Barranco del Rey y una franja entre la carretera de Santa Cruz a Guía de Isora y la costa.

Se presentan en mantos no estratificados de espesor variable (aproximadamente 10 m., no apreciándose su límite inferior) y están afectados por una erosión eólica muy peculiar.

Están formados por fragmentos de pómez, sálicos y basálticos, siendo los sálicos los predominantes. Los fragmentos de rocas extrañas (basaltos fundamentalmente) son escasos y, en general, se distribuyen homogéneamente. Los materiales se encuentran muy consolidados, aunque probablemente esa consolidación es debida en gran parte a procesos epigenéticos.

Una característica importante de estas tobas, que las diferencia de las de La Caldera, es la existencia en ellas de fragmentos de pómez haiúnico, mineral éste que no se ha visto en los pómez de La Caldera.

Estos depósitos pudieran corresponder a los materiales puzolánicos que cita Hausen (1956) y que Fúster *et al.* (1968) consideran "ash-flow" pumíticos, formados como avalanchas rápidas en episodios de nube ardiente desbordante.

Junto al Barranco del Rey existen también una serie de

tobas con cantos basálticos y sálicos, siendo estos últimos los dominantes. En la matriz aparecen abundantes fragmentos de sanidina (más que en las tobas de otras unidades) de biotita y de augita egrínica. Aunque el pómez es escaso, de vez en cuando aparecen fragmentos de gran tamaño, con fenocristales de sanidina y anortosa en matriz hialina o vítrea. Aunque más escasos contienen también cristales de haiúna, biotita y anfíbol.

En la franja del sur aparecen tobas con mayor cantidad de sanidina y con anfíbol. Los cristales y fragmentos de roca pequeños están orientados. En general, son tobas más haiúnicas y más alcalinas que las del resto de las unidades, conteniendo mayor proporción de cantos sálicos de texturas muy variables desde afaníticos a microcristalinos y con abundantes fenocristales de anortosa. Otras veces son brechoides, con fragmentos traquíticos en matriz muy oscura. También hay en estas tobas cantos fonolíticos con microlitos feldespáticos rodeados por anfíbol tipo enigmatita.

Los fragmentos de pómez son también distintos entre sí. Por ejemplo, uno de ellos contiene cristales de plagioclasa, anfíbol tipo kaersutita, augita, augita egrínica y escasa sanidina y haiúna en matriz hialina vesicular. Otro contiene fenocristales de sanidina, biotita y escasa augita egrínica y haiúna en matriz vítrea.

Entre los cantos basálticos, aunque los hay de distintos tipos, predominan los plagioclásicos con o sin olivino.

### Aspectos morfológicos y estructurales de la Caldera del Rey

La cobertera de materiales de proyección aérea de la Caldera del Rey, debió de cubrir gran parte de esta zona sur de la isla. Al sureste de la Caldera, y en las proximidades de Montaña de Guaza y Montaña del Mojón, aparecen aisladas unas pequeñas manchas de materiales de proyección aérea sobre las coladas basálticas de la Serie III, las cuales son asimilables, en cierto modo, a la Caldera de Rey.

El principal problema en materiales volcánicos es que de no existir una continuidad espacial de los materiales, no puede decirse con exactitud, a pesar de su similitud, si dos materiales pertenecen o no a la misma unidad, si no se cuenta con dataciones radiométricas.

La extensión tan limitada de estos afloramientos ha sido la causa de no incluirlos en la cartografía, pues debido a la escala utilizada (1:5.000) habría que haber ampliado excesivamente el área cartográfica.

Estos afloramientos, sin embargo, son importantes en el sentido de que nos han servido para situar estratigráficamente la Caldera del Rey respecto a otras manifestaciones volcánicas de la zona. Presentan un nivel base cinerítico semejante a los de la Caldera del Rey, incluyendo, asimismo, lapilli acreccionario.

Aunque la cobertera de materiales de proyección aérea ha debido de ser muy denudada por la erosión, aun puede apreciarse un predominio de dichos materiales en la dirección suroeste. Este predominio actual vendría condicionado por su mayor potencia debido a la dirección predominante de los vientos alisios dominantes. Así, según Hernández-Pacheco, E.

*et al.* (1949), el régimen de vientos alisios se estableció en el Pleistoceno medio-superior.

La alineación morfológica de los dos maars que forman la Caldera del Rey, hace suponer, observando la foto aérea, la existencia de una fractura o directriz tectónica de debilidad de dirección N 35° E, a favor de la cual surgieron las erupciones (ver fig. 2).

Esta dirección es prácticamente similar a las directrices estructurales del área de Montaña de Guaza, más al sureste, en donde surgió la extrusión traquítico-fonolítica del mismo nombre. Además, coincide con la alineación de amplitud regional: Fuerteventura-Lanzarote-Banco de la Concepción (N 35° E), Hernández-Pacheco, A. (1979). Esta alineación es una de las cuatro que según este autor siguen todos

los accidentes geológicos importantes dentro de las islas.

La morfología de la Caldera del Rey y las características de sus materiales: blandos y en general de granulometría fina, ha permitido la creación de un drenaje radial centrífugo (del borde al exterior) formando hacia el interior una pequeña cuenca endorreica.

Se han realizado diversos perfiles topográficos correspondientes a distintas morfologías volcánicas de las islas (calderas, extrusiones y conos de escorias y piroclastos) (fig. 14). Esto permite visualizar las características morfológicas tan peculiares de los maars de la Caldera del Rey.

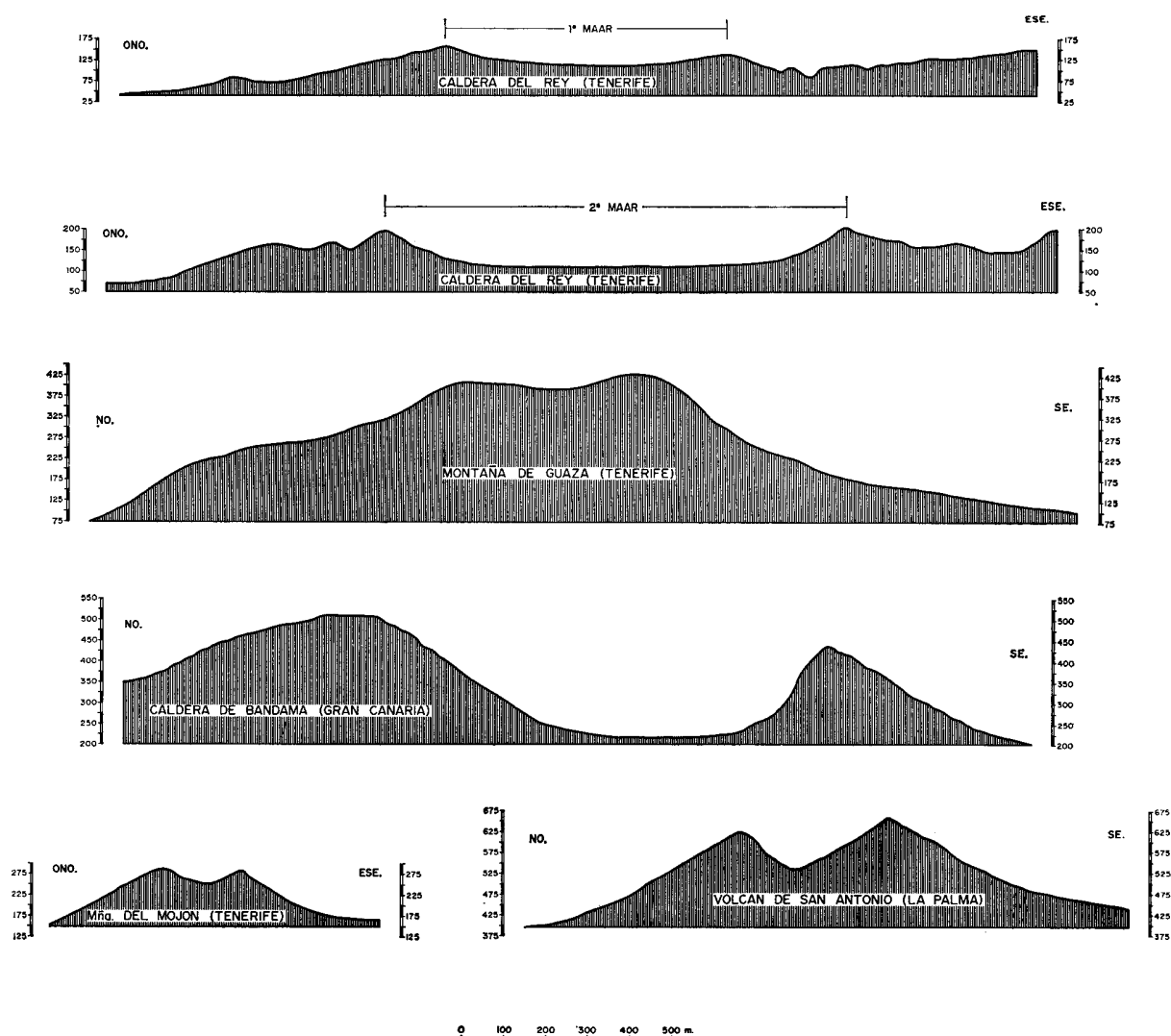


Fig. 14.—Perfil topográfico de los distintos tipos de edificios volcánicos existentes en las Islas Canarias. Se pone de manifiesto las diferencias morfológicas entre el maar de La Caldera del Rey y otros edificios volcánicos canarios.

## Edad de la erupción

No se ha podido datar exactamente la edad de esta erupción, ya que no se han encontrado restos fósiles en los materiales piroclásticos de la misma, como encontró O. Burchard, citado en Hausen (1956). O. Burchard, encontró en unos depósitos de tobas similares a los de la Caldera del Rey (materiales sálicos de un ciclo volcánico asimilable a nuestra Caldera), algo más al norte, en Adeje, unos huesos de una tortuga gigante "Testudo Burchardi" E. Ahl. Estos restos fueron hallados en una cantera de puzzolana de Barranco Seco, al este de la Villa de Adeje. No está bien datada la época de existencia de este tipo de tortugas, pero se considera como de Mioceno tardío.

Teniendo en cuenta que también se han encontrado en depósitos de este tipo lagartos gigantes: "Lacerta Goliath" MERTENS, que aunque desapareció a finales del Terciario, siguió existiendo como formas degeneradas (algo más pequeñas) hasta la actualidad en el archipiélago ("Lacerta Simonyi" y "Lacerta Stehleri") (ver Bravo, 1953), no es nada seguro que no sea también éste el caso de las tortugas citadas.

Se han intentado datar estos depósitos por métodos radiométricos,  $C^{14}$ , pero ha resultado infructuoso. En pequeñas oquedades, a modo de tubos en estos depósitos tobáceos, se ha hallado un polvo de restos carbonosos procedentes posiblemente de restos quemados de animales o vegetales. Este polvo fue analizado en el laboratorio de  $C^{14}$  del Instituto Rocasolano del C.S.I.C.

La muestra analizada (CR-214-HP), según dicho laboratorio, no era carbón vegetal, sino algún tipo de betún (asfalto o brea), aunque el contenido en C (16.41%) e H (1.45%) eran bajos para este tipo de productos. Esta muestra resultaba soluble en agua, formando una finísima suspensión que impedía aplicar un tratamiento previo de descontaminación. A su vez, en las pruebas parciales de combustión, el humo resultante se depositaba en todas partes, lo que podía inutilizar el sistema de combustión. Debido a ello, se desistió de su proceso.

Una posible explicación (Hernández-Pacheco, A., comunicación personal) sería que estos restos procedieran de una vegetación de especies del tipo de los cardones y tabaibas (familia Euphorbiaceae), tipo de flora que existe todavía en las islas. La combustión del látex en condiciones reductoras y de escasez de oxígeno originaría este tipo de productos bituminosos.

Dado que estos datos radiométricos y paleontológicos no son útiles para la datación exacta de la erupción, únicamente es posible encajar la formación de la Caldera del Rey en función de criterios vulcanoestratigráficos.

En la bibliografía, la Caldera del Rey aparece situada en distintas series dentro de la vulcanoestratigrafía de Tenerife. Fúster *et al.* (1968) la incluyen en la Serie Traquítica-Traquibasáltica, aunque indican

que posiblemente sea más reciente que el resto de los episodios de la misma Serie. Araña, Muñoz y Fúster (1969), la sitúan dentro de los episodios pumíticos de la Serie Cañadas. Según Bravo y Coello (1975), los depósitos de la Caldera del Rey son anteriores a los ash-flow pumíticos de la isla.

Las observaciones hechas en campo nos llevan a situar a la Caldera del Rey dentro de la Serie III, siendo más recientes que algunos basaltos de la misma Serie de la zona, ya que los materiales de proyección aérea de la Caldera los cubren localmente. Todo esto coincide, en parte, con los criterios de Hernández-Pacheco, A. (1979).

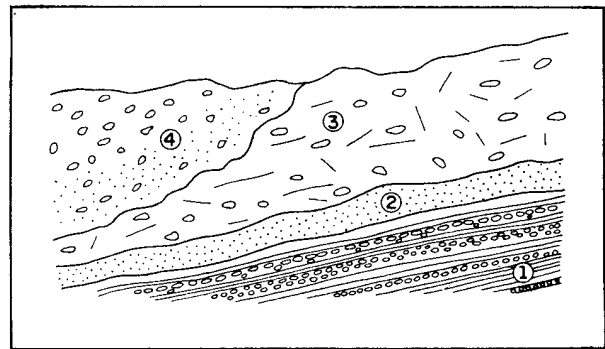


Fig. 15.—Corte esquemático (no a escala) en la autopista del sur, a la altura de la Montaña del Mojón (Barranco del Verodal). 4: cineritas que pasan insensiblemente a tobas cargadas de pómez de Montaña de Guaza; 3: Suelo muy potente cargado de fragmentos de pómez; 2: cineritas muy blancas, con lapilli acreccionario y estratificación cruzada de La Caldera del Rey; 1: escorias y piroclastos basálticos de Montaña del Mojón.

En el Barranco del Verodal (fig. 15) los depósitos de pómez de Montaña de Guaza cubren los niveles cineríticos de la Caldera del Rey. La datación de Montaña de Guaza, según métodos radiométricos ( $C^{14}$ ), da una edad superior a los 40.000 años, límite superior del método, Fernández Santín y Nafría (1978). A su vez, los depósitos cineríticos recubren los piroclastos de la Montaña del Mojón. La secuencia entre estos tres episodios sería, de más antiguo a más moderno:

Montaña del Mojón - Caldera del Rey -  
Montaña de Guaza

En el cuadro 1 se ha resumido la vulcanoestratigrafía de la zona. La edad que puede deducirse para la formación de la Caldera del Rey es, pues, Cuaternaria (Pleistoceno).

## Estudio geoquímico de los materiales de la Caldera del Rey

Para efectuar el estudio geoquímico de los materiales de la Caldera del Rey se dispone de 19 análisis.

**TABLA 2**  
ANALISIS QUIMICOS DE LOS MATERIALES DE LA CALDERA DEL REY (1 a 19) Y UNIDADES ADYACENTES (20 a 25)

|                                | 1     | 2     | 3     | 4     | 5      | 6     | 7      | 8      | 9     | 10     | 11    | 12     | 13    | 14    | 15    | 16    | 17    | 18     | 19     | 20     | 21     | 22     | 23     | 24     | 25    |                                |
|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|--------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|--------------------------------|
| SiO <sub>2</sub>               | 31.13 | 37.52 | 50.20 | 53.33 | 53.74  | 58.15 | 58.34  | 59.39  | 59.39 | 60.03  | 60.03 | 60.20  | 60.47 | 60.50 | 60.91 | 61.03 | 61.29 | 61.36  | 61.50  | 50.45  | 50.76  | 55.41  | 58.40  | 58.84  | 59.40 | SiO <sub>2</sub>               |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 9.08  | 11.03 | 15.23 | 15.88 | 16.35  | 16.66 | 16.37  | 16.62  | 16.44 | 16.93  | 18.42 | 18.26  | 17.44 | 17.36 | 17.31 | 17.60 | 17.67 | 17.44  | 17.16  | 19.85  | 18.37  | 17.56  | 17.40  | 17.40  | 17.84 | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 1.77  | 2.44  | 3.63  | 3.80  | 3.74   | 1.94  | 2.12   | 2.07   | 1.97  | 2.34   | 2.43  | 1.42   | 2.15  | 1.86  | 2.28  | 2.60  | 2.65  | 2.23   | 3.06   | 3.05   | 2.95   | 2.07   | 1.50   | 1.45   | 1.14  | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> |
| FeO                            | 0.43  | 0.21  | 0.33  | 0.21  | 0.28   | 0.80  | 0.87   | 0.60   | 0.68  | 0.53   | 0.45  | 1.67   | 0.64  | 1.03  | 0.65  | 0.32  | 0.30  | 0.45   | 0.45   | 1.98   | 2.30   | 2.36   | 1.20   | 1.40   | 1.66  | FeO                            |
| MnO                            | 0.11  | 0.09  | 0.04  | 0.12  | 0.10   | 0.21  | 0.23   | 0.20   | 0.19  | 0.24   | 0.07  | 0.17   | 0.04  | 0.18  | 0.12  | 0.15  | 0.05  | 0.07   | 0.21   | 0.08   | 0.04   | 0.14   | 0.15   | 0.15   | 0.15  | MnO                            |
| MgO                            | 1.36  | 1.62  | 2.09  | 2.11  | 2.07   | 1.00  | 1.21   | 0.57   | 1.00  | 0.30   | 0.60  | 0.75   | 0.76  | 0.71  | 0.40  | 1.00  | 0.87  | 0.80   | 1.11   | 2.43   | 2.50   | 2.33   | 0.80   | 1.00   | 0.71  | MgO                            |
| CaO                            | 29.72 | 20.75 | 5.71  | 2.40  | 2.20   | 1.12  | 0.98   | 1.05   | 1.97  | 0.84   | 1.40  | 0.99   | 0.92  | 0.93  | 1.12  | 1.12  | 1.51  | 1.82   | 1.12   | 4.80   | 6.73   | 4.60   | 1.12   | 1.96   | 0.79  | CaO                            |
| Na <sub>2</sub> O              | 3.61  | 4.47  | 5.76  | 7.47  | 6.36   | 9.81  | 8.88   | 7.44   | 8.68  | 10.40  | 8.14  | 8.44   | 7.81  | 7.96  | 8.14  | 7.65  | 8.35  | 7.56   | 5.12   | 4.42   | 8.89   | 11.32  | 9.43   | 8.24   | 8.24  | Na <sub>2</sub> O              |
| K <sub>2</sub> O               | 2.40  | 3.08  | 4.00  | 4.96  | 4.67   | 5.68  | 5.21   | 4.96   | 5.54  | 5.28   | 5.53  | 5.82   | 5.25  | 5.34  | 5.49  | 5.88  | 5.58  | 5.27   | 5.52   | 4.23   | 4.19   | 3.15   | 5.82   | 5.49   | 5.96  | K <sub>2</sub> O               |
| TiO <sub>2</sub>               | 0.63  | 0.69  | 1.03  | 1.00  | 1.04   | 0.68  | 0.66   | 0.60   | 0.65  | 0.62   | 0.68  | 0.71   | 0.66  | 0.70  | 0.60  | 0.64  | 0.63  | 0.67   | 0.73   | 1.56   | 1.62   | 1.59   | 0.81   | 0.92   | 0.80  | TiO <sub>2</sub>               |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 0.20  | 0.18  | 0.20  | 0.18  | 0.18   | 0.05  | 0.08   | 0.04   | -     | -      | 0.07  | 0.09   | 0.06  | 0.10  | 0.05  | 0.10  | 0.05  | 0.08   | 0.28   | 0.56   | 0.55   | 0.47   | -      | 0.33   | 0.09  | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  |
| H <sub>2</sub> O               | 3.90  | 5.79  | 8.08  | 8.45  | 8.66   | 3.53  | 5.19   | 6.70   | 3.33  | 2.54   | 1.90  | 1.50   | 3.55  | 3.25  | 2.06  | 1.60  | 0.96  | 1.87   | 1.19   | 5.98   | 5.93   | 1.68   | 1.81   | 1.91   | 2.85  | H <sub>2</sub> O               |
| CO <sub>2</sub>                | 14.35 | 12.07 | 3.50  | -     | 0.71   | -     | -      | -      | -     | -      | -     | -      | -     | -     | -     | -     | -     | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -     | CO <sub>2</sub>                |
| Total                          | 98.69 | 99.94 | 99.80 | 99.61 | 100.10 | 99.63 | 100.14 | 100.24 | 99.95 | 100.05 | 99.72 | 100.02 | 99.75 | 99.95 | 99.13 | 99.69 | 99.91 | 100.29 | 100.09 | 100.09 | 100.36 | 100.25 | 100.33 | 100.28 | 99.64 | Total                          |

- 1.- Estructura esferoidal en cinerita (núcleo) (61679). Trinchera junto a la Casa de la Caldera. (Unidad inferior 2ª maar). Analista: A. Paradas.
- 2.- Estructura esferoidal en cinerita (aureola) (61680). Trinchera junto a la Casa de la Caldera. (Unidad inferior 2ª maar). Analista: A. Paradas.
- 3.- Cinerita (61694). Lomo de la Caldera. (Unidad superior 2ª maar). Analista: A. Paradas.
- 4.- Cinerita (57998). Trinchera junto a la Casa de la Caldera. (Unidad inferior 2ª maar). Analista: A. Paradas.
- 5.- Cinerita (61699). Trinchera junto a la Casa de la Caldera. (Unidad inferior 2ª maar). Analista: A. Paradas.
- 6.- Pómez (57996). Trinchera junto a la Casa de la Caldera. (Unidad inferior 2ª maar). Analista: A. Paradas.
- 7.- Pómez (57995). Trinchera junto a la Casa de la Caldera. (Unidad media 1ª maar). Analista: A. Paradas.
- 8.- Pómez (61686). Ctra. C-282 de Sta. Cruz a Cúca de Isora por el S., Km 108. (Unidad media 1ª maar). Analista: A. Paradas.
- 9.- Pómez (58006). Lomo de la Caldera (Unidad superior 2ª maar). Analista: A. Paradas.
- 10.- Pómez (61689). Los Curbelos. (Unidad media 1ª maar). Analista: A. Paradas.
- 11.- R. Sállica (58005). Lomo de la Caldera. (Unidad superior 2ª maar). Analista: A. Paradas.
- 12.- Traqufonolita (9981). Caldera del Rey. Analista: J.L. Brandle (en Brandle, 1973).
- 13.- R. Sállica (61688). Lomo del Faro. (Unidad superior 2ª maar). Analista: A. Paradas.
- 14.- Fonolita (23664). Barranco del Rey. Analista: J.L. Brandle (en Brandle, 1973).
- 15.- Roca sállica (61696). Trinchera junto a la Casa de la Caldera. (Unidad media 1ª maar). Analista: A. Paradas.
- 16.- Roca sállica (61695). Interior Lomo del Faro. (Unidad inferior 1ª maar). Analista: A. Paradas.
- 17.- Roca sállica (61690). Interior Lomo del Faro. (Unidad inferior 1ª maar). Analista: A. Paradas.
- 18.- Roca sállica (57999). Trinchera junto a la Casa de la Caldera. (Unidad media 1ª maar). Analista: A. Paradas.
- 19.- Fonolita (21624). Caldera del Rey. Analista: J.L. Brandle (en Brandle, 1973).
- 20.- Roca sállica (61698). Lomo de la Caldera. Xenolito del dique sállico de la S. Antigua. (Unidad superior 2ª maar). Analista: A. Paradas.
- 21.- Roca sállica (61697). Morro Negro. Dique sállico en la Serie Antigua. Analista: A. Paradas.
- 22.- Pómez (61687). Barranco de Troys. (Ash-flow pumfíticos). Analista: A. Paradas.
- 23.- Pómez (61687). Barranco de Troys. (Ash-flow pumfíticos). Analista: A. Paradas.
- 24.- Pómez (61701). Barranco del Rey. (Ash-flow pumfíticos). Analista: A. Paradas.
- 25.- Traqufonolita (21697). Barranco de Troys. (Ash-flow pumfíticos). Analista: J.L. Brandle.

TABLA 3  
Cálculos geoquímicos realizados (igual numeración que en la tabla 2)

|      | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    | 11    | 12    | 13    | 14    | 15    | 16    | 17    | 18    | 19    | 20    | 21    | 22    | 23    | 24    | 25    |      |    |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|----|
| Or   | 14.18 | 18.20 | 23.64 | 29.31 | 27.60 | 33.56 | 30.79 | 29.31 | 32.74 | 31.20 | 32.68 | 34.39 | 31.02 | 31.55 | 32.44 | 34.75 | 32.97 | 31.14 | 32.62 | 25.00 | 24.76 | 18.61 | 34.39 | 32.44 | 35.22 | Or   |    |
| Ab   | 1.30  | 19.95 | 44.69 | 30.86 | 44.90 | 34.36 | 40.17 | 46.47 | 34.45 | 39.63 | 39.99 | 40.34 | 46.96 | 46.33 | 43.40 | 42.36 | 39.05 | 50.93 | 47.40 | 30.22 | 27.48 | 27.74 | 30.71 | 36.31 | 40.15 | Ab   |    |
| An   | 1.22  | 0.61  | 3.47  | -     | 1.81  | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | 18.32 | 17.59 | -     | -     | -     | -     | An   |    |
| Ne   | 16.11 | 10.02 | 2.62  | 12.58 | 5.30  | 10.68 | 8.15  | 6.18  | 10.45 | 9.79  | 12.99 | 11.48 | 7.33  | 7.18  | 8.17  | 8.37  | 11.26 | 5.12  | 5.49  | 7.48  | 5.70  | 24.41 | 14.30 | 12.26 | 9.99  | Ne   |    |
| Eg   | -     | -     | -     | 6.68  | -     | 5.61  | 6.13  | 5.37  | 5.70  | 6.77  | 5.31  | 4.11  | 5.88  | 5.38  | 6.60  | 7.03  | 7.67  | 4.08  | 6.58  | -     | -     | 3.22  | 4.34  | 4.19  | 3.30  | Eg   |    |
| Ns   | -     | -     | -     | -     | 5.56  | 3.30  | -     | 3.36  | 5.60  | -     | 1.49  | -     | 0.64  | 0.94  | -     | -     | 0.76  | -     | 0.39  | 0.99  | 3.78  | 1.28  | -     | 8.22  | 4.05  | 1.98 | Ns |
| Oliv | -     | -     | 3.65  | 1.52  | 3.28  | 0.88  | 1.64  | -     | -     | -     | 1.69  | 0.31  | 0.92  | -     | 0.61  | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | 0.68  | 0.61  | 1.77  | Oliv |    |
| Di   | 7.30  | 8.70  | -     | 6.64  | 1.02  | 4.18  | 3.47  | 3.64  | 6.37  | 2.36  | 3.22  | 3.60  | 3.26  | 3.22  | 2.95  | 3.50  | 4.67  | 3.09  | 2.90  | 1.43  | 9.50  | 14.73 | 4.52  | 6.14  | 2.77  | Di   |    |
| Hy   | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | Hy   |    |
| Wo   | 18.66 | 5.19  | -     | -     | -     | -     | -     | 2.07  | 4.08  | 1.74  | 2.56  | -     | -     | -     | 2.18  | -     | 2.64  | 3.42  | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | Wo   |    |
| Ap   | 0.46  | 0.42  | 0.46  | 0.42  | 0.42  | 0.12  | 0.19  | 0.09  | -     | -     | 0.16  | 0.21  | 0.14  | 0.23  | 0.12  | 0.23  | 0.12  | 0.19  | 0.65  | 1.30  | 1.27  | 1.09  | -     | 0.76  | 0.21  | Ap   |    |
| Mt   | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | 0.31  | -     | -     | -     | -     | 0.17  | -     | -     | -     | -     | 0.02  | 2.12  | 2.85  | 1.39  | -     | -     | -     | -     | Mt   |    |
| Ilm  | 1.14  | 0.64  | 0.78  | 0.70  | 0.81  | 1.29  | 1.25  | 1.14  | 1.23  | 1.18  | 1.10  | 1.35  | 1.25  | 1.33  | 1.14  | 1.00  | 0.74  | 1.10  | 1.39  | 2.96  | 3.08  | 3.02  | 1.54  | 1.75  | 1.52  | Ilm  |    |
| Hm   | 1.77  | 2.44  | 3.63  | 1.49  | 3.74  | -     | -     | -     | -     | -     | 0.59  | -     | -     | -     | 0.17  | -     | 0.82  | 0.77  | 1.59  | 0.99  | -     | -     | -     | -     | -     | Hm   |    |
| Per  | 0.05  | 0.60  | 0.69  | 1.07  | 1.05  | -     | -     | -     | -     | -     | 0.17  | -     | -     | -     | 0.20  | 0.41  | 0.15  | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | Per  |    |
| Cc   | 32.64 | 27.45 | 7.96  | -     | 1.61  | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | 1.52  | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | Cc   |    |
| Ru   | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | Ru   |    |
| FEMG | -     | -     | -     | -     | -     | 0.18  | 0.19  | 0.14  | 0.14  | 0.29  | -     | 0.47  | 0.02  | 0.32  | 0.25  | -     | -     | -     | -     | -     | -     | 0.13  | 0.30  | 0.29  | 0.46  | FEMG |    |
| ID   | 31.59 | 48.17 | 70.95 | 72.75 | 77.80 | 78.60 | 79.11 | 81.96 | 77.64 | 80.62 | 85.66 | 86.21 | 85.31 | 85.06 | 84.01 | 85.48 | 83.28 | 87.19 | 85.51 | 62.70 | 57.94 | 70.76 | 79.40 | 81.01 | 85.36 | ID   |    |
| IP   | 0.94  | 0.97  | 0.91  | 1.08  | 0.95  | 1.34  | 1.24  | 1.06  | 1.23  | 1.35  | 1.05  | 1.11  | 1.06  | 1.09  | 1.12  | 1.08  | 1.12  | 1.04  | 1.07  | 0.65  | 0.64  | 1.03  | 1.43  | 1.23  | 1.12  | IP   |    |
| a    | 17.4  | 20.7  | 21.8  | 22.9  | 22.7  | 22.4  | 22.6  | 23.4  | 22.2  | 22.5  | 25.0  | 24.7  | 24.0  | 23.8  | 23.7  | 23.8  | 23.7  | 23.7  | 23.0  | 19.2  | 17.2  | 23.2  | 22.6  | 23.2  | 24.6  | a    |    |
| b    | 27.3  | 16.5  | 8.9   | 9.0   | 8.9   | 8.0   | 5.7   | 3.6   | 6.8   | 6.6   | 4.1   | 2.9   | 3.5   | 3.1   | 2.1   | 4.0   | 3.5   | 4.1   | 4.8   | 11.0  | 13.9  | 12.9  | 9.9   | 6.8   | 2.4   | b    |    |
| c    | 0.6   | 0.3   | 1.1   | -     | -     | 0.6   | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | 5.1   | 4.8   | -     | -     | -     | -     | c    |    |
| e    | -     | -     | -     | 1.8   | -     | 2.6   | 2.9   | 1.4   | 2.5   | 2.7   | 1.3   | 2.6   | 1.5   | 2.1   | 2.7   | 1.8   | 2.6   | 0.9   | 1.7   | -     | -     | 0.6   | 2.5   | 2.7   | 2.8   | e    |    |
| s    | 54.7  | 62.5  | 68.2  | 66.2  | 67.8  | 66.9  | 68.8  | 71.5  | 68.6  | 68.2  | 69.7  | 69.8  | 71.0  | 71.0  | 71.4  | 70.5  | 70.2  | 71.3  | 70.5  | 64.7  | 64.2  | 63.3  | 65.0  | 67.3  | 70.2  | s    |    |
| f'   | 11.3  | 20.8  | 45.7  | 22.2  | 44.0  | -     | -     | 35.1  | -     | -     | 32.3  | 13.7  | 30.0  | 23.5  | -     | 22.1  | -     | 36.7  | 32.7  | 46.0  | 37.2  | 26.9  | -     | -     | -     | f'   |    |
| n'   | -     | -     | -     | -     | -     | 61.6  | 41.8  | -     | 39.0  | 77.1  | -     | -     | -     | -     | 1.1   | -     | 6.1   | -     | -     | -     | -     | -     | 73.4  | 39.9  | 8.5   | n'   |    |
| m'   | 12.9  | 24.0  | 46.8  | 42.8  | 43.3  | 21.3  | 36.8  | 27.9  | 25.2  | 7.6   | 25.3  | 44.3  | 37.4  | 39.4  | 32.8  | 43.1  | 41.8  | 33.8  | 39.0  | 41.4  | 33.1  | 30.2  | 13.3  | 24.9  | 50.9  | m'   |    |
| c'   | 75.8  | 55.2  | 7.5   | 35.0  | 12.6  | 17.1  | 21.4  | 37.0  | 35.7  | 15.3  | 42.4  | 42.0  | 32.6  | 37.1  | 66.1  | 34.7  | 52.1  | 29.5  | 28.3  | 12.6  | 29.7  | 42.9  | 13.3  | 35.1  | 40.7  | c'   |    |
| n    | 69.6  | 68.8  | 68.6  | 66.2  | 67.4  | 63.1  | 65.6  | 67.0  | 63.5  | 66.3  | 67.5  | 65.5  | 67.4  | 66.7  | 65.7  | 63.8  | 65.8  | 67.3  | 65.2  | 64.8  | 61.6  | 80.6  | 63.8  | 65.9  | 63.8  | n    |    |
| -Q   | -25.9 | -16.8 | -8.3  | -15.2 | -10.5 | -13.6 | -10.5 | -5.1  | -9.7  | -11.4 | -12.0 | -12.5 | -7.3  | -7.7  | -7.4  | -8.4  | -9.6  | -5.7  | -6.6  | -14.0 | -10.8 | -20.3 | -17.7 | -14.4 | -11.6 | -Q   |    |

Características numéricas de Zavaritzkii



Además se analizaron materiales de tipo ash-flow, próximos geográficamente, cuya pertenencia a la unidad de la Caldera del Rey era dudosa. Asimismo, se han incluido un análisis de un dique sálico en la Serie Antigua y un análisis del mismo material incluido como xenolito en los materiales de la Caldera del Rey.

Los análisis y cálculos geoquímicos de las muestras de la Caldera del Rey y de las unidades adyacentes están reunidos en los cuadros 2 y 3, respectivamente.

Las distintas muestras analizadas de la Caldera del Rey se han seleccionado teniendo en cuenta que fueran representativas de los diferentes episodios eruptivos acaecidos. Los análisis 1 y 2 del cuadro 2 pertenecientes a cineritas con estructura esferoidal, no se han incluido en ninguno de los diagramas, ya que su riqueza en carbonatos hace que se proyecten de modo anómalo en todos ellos.

### Clasificación

Respecto a los materiales de la Caldera del Rey, propiamente dichos, un problema a resolver era el de su clasificación, puesto que petrográficamente, como ya se ha dicho, no pudo realizarse debido a la textura criptocristalina de la mayoría de las muestras.

El hecho de que el análisis químico resulte imprescindible para una caracterización exacta, es por lo que se ha tratado de clasificarlos químicamente, utilizándose el diagrama de Streckeisen (1976) en función de los minerales normativos (Norma C.I.P.W.), ya que, como el mismo autor dice, hay poca diferencia entre usar la Norma C.I.P.W. o la Norma catiónica de Niggli.

En el vértice A (feldespato alcalino) hemos agrupado: albita + ortosa, siendo los demás vértices, P: anortita, Q: cuarzo, y F: nefelina.

En la figura 16 pueden observarse cómo la mayoría de los materiales de la Caldera del Rey se alinean en el lado A-F del diagrama (fonolitas-traquitas), lo que significa que no tienen anortita. Los puntos que se desplazan del lado A-F corresponden a términos cineríticos y a estructuras esferoidales, y la pequeña cantidad de An normativa que contienen no está como An modal (fase silicatada), sino como calcita, mineral producto de la alteración.

Existe, pues, un paso continuo de rocas fundamentalmente feldespáticas ( $Ne < 10\%$ ) (traquitas alcalinas) a feldespatóidicas ( $Ne > 10\%$ ) (fonolitas), y esto se cumple también para cada uno de los tipos de materiales (pómez, cineritas y rocas compactas), por tanto, no creemos conveniente denominar traquitas o fonolitas a rocas que ni macroscópica ni microscópicamente presentan diferencias entre sí, y nos referimos siempre con el nombre más general de rocas sálicas.

En la misma figura se han representado materiales

del ash-flow pumítico, muy similares composicionalmente a los de la Caldera del Rey.

También se han representado dos muestras de un dique sálico intrusivo en la Serie Antigua. Ambas son de naturaleza diferente y se separan claramente de todas las demás.

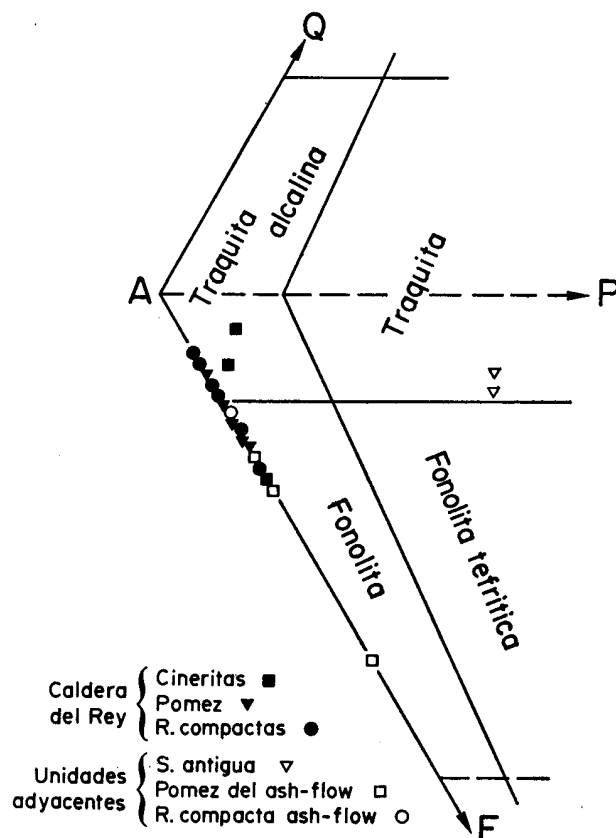


Fig. 16.—Proyección de los materiales de La Caldera del Rey y de las unidades adyacentes en el diagrama de clasificación de Streckeisen (Streckeisen, 1976), Q = cuarzo; P = anortita; A = albita + ortosa; F = nefelina.

Si se utiliza el criterio de clasificación dado por Brandle (1973) para los materiales sálicos, en función del ID, se tienen resultados coincidentes, sin más que añadir el calificativo de peralcalina a todas aquellas rocas cuya proyección está en el lado AF del triángulo.

Sin embargo, e igual que se ha comentado antes para la clasificación de Streckeisen, las rocas químicamente clasificadas como traquitas no se diferencian petrográficamente de las clasificadas como fonolitas, por lo cual también en este caso preferimos no utilizar la nomenclatura específica obtenida y seguir usando la más real de rocas sálicas que comprende tanto a las traquitas como a las fonolitas.

En la tabla 2 se ha utilizado la denominación de roca sálica para todas las rocas compactas analizadas

y se ha respetado la nomenclatura previa en los análisis tomados de la bibliografía. El nombre de traquifonolita empleado por Brandle (1973), expresa lo mismo que la denominación roca sálica, preferida por los autores del presente trabajo.

### Discusión de los datos geoquímicos

También a partir de la Norma C.I.P.W. se ha calculado el índice de diferenciación (ID).

Los materiales de la Caldera del Rey presentan un pequeño intervalo en el ID (70-90). Se observa un incremento del ID desde cineritas, pasando por los pómez, hasta los materiales más compactos, parte de los cuales, al menos, pensamos que son cogenéticos con la Caldera del Rey.

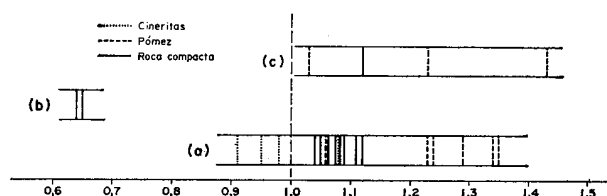


Fig. 17.—Representación del índice de peralcalinidad de los materiales de La Caldera del Rey (a) y de las unidades adyacentes: (b): Serie Antigua; (c): ash-flow pumíticos.

Las cineritas presentan un comportamiento bastante diferente del resto de los materiales. Son relativamente más pobres en  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{FeO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$  y  $\text{K}_2\text{O}$ , en tanto que son bastante más ricas en  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$  y  $\text{TiO}_2$ .

Esto parece lógico para el  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , ya que al ser un material finamente pulverizado presenta una superficie de oxidación mayor, y la mayoría del hierro que contiene está como oxidado.

Respecto a los álcalis, el contenido relativamente bajo, podría explicarse por un escape de los mismos en la fase volátil durante períodos de mayor explosión.

La mayor proporción de  $\text{MgO}$  y  $\text{TiO}_2$  en las cineritas respecto a los otros materiales no es fácilmente interpretable, si bien es posible que al disminuir los álcalis y la sílice los otros elementos aumenten proporcionalmente.

Los pómez siguen una pauta más o menos homogénea con los materiales más compactos, aumentando y disminuyendo sus óxidos de acuerdo con las pautas típicas de un proceso de diferenciación.

Los tres análisis de pómez, pertenecientes a la unidad ash-flow son claramente distintos a los de la Caldera del Rey, lo cual confirma la hipótesis ya evidenciada en el campo de que estos materiales no pertenecen a la Caldera del Rey.

En estos pómez existen fenómenos de inmiscibilidad y la diferencia entre la zona oscura, más básica, rica en  $\text{Fe}$  total,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$  y  $\text{TiO}_2$  y la zona clara, más sálica, rica en  $\text{SiO}_2$  y álcalis es mayor que la existente entre muestras distintas de la misma formación.

### Índice de Peralcalinidad

El índice de peralcalinidad de todas las muestras estudiadas se ha representado gráficamente en la figura 17. En ella se observa cómo los materiales de la Caldera del Rey se disponen en orden de menor a

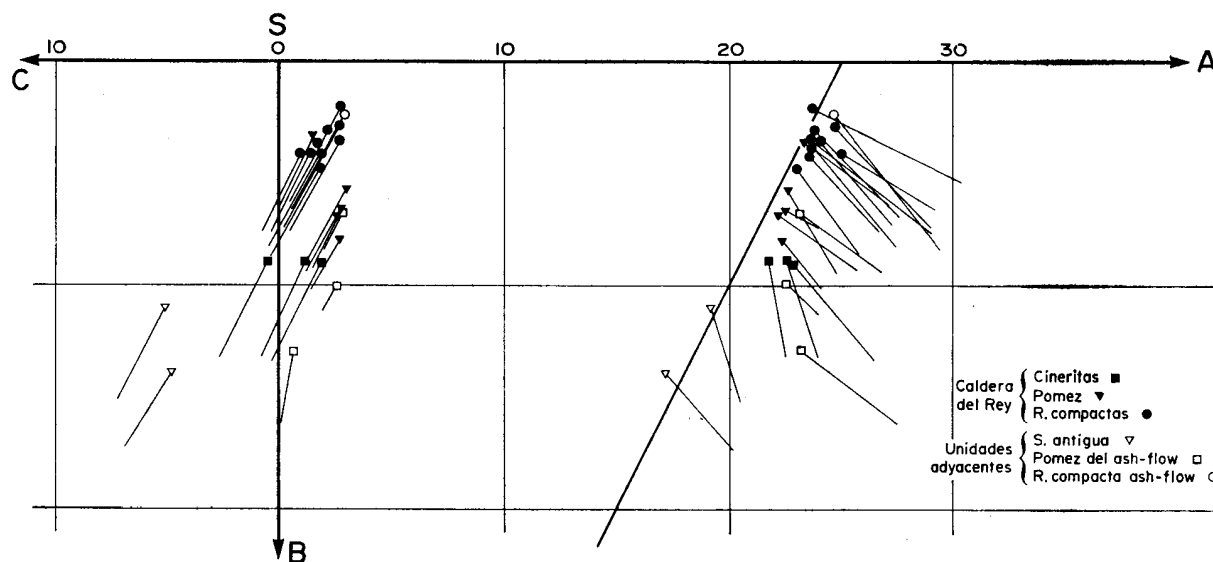


Fig. 18.—Representación gráfica de las características numéricas de Zavaritzkii de los materiales de La Caldera del Rey y de las unidades adyacentes.

mayor índice de peralcalinidad en: cineritas, rocas compactas, pómez.

En los pómez del ash-flow se observa que, aunque existen solapamientos (debidos a que la zona básica de inmiscibilidad tiene un índice de peralcalinidad muy bajo), se tienen valores similares a los de los pómez de la Caldera del Rey.

También se pone aquí de manifiesto que las rocas pertenecientes a la Serie Antigua (dique sálico) no tienen ninguna relación con los materiales estudiados.

### Diagrama de Zavaritzkii

Al proyectar los materiales de la Caldera del Rey en un diagrama de Zavaritzkii (fig. 18) se observa que, aunque con ciertos solapamientos, quedan ordenados de menor a mayor alcalinidad e inversamente de mayor a menor contenido en ferromagnesianos en: cineritas, pómez y rocas compactas, orden inverso respecto a pómez y rocas compactas al que obteníamos por el índice de peralcalinidad. La razón de esto es que las rocas compactas tienen una cantidad de  $Al_2O_3$  mucho mayor que el pómez, lo que les hace tener un índice de peralcalinidad más bajo.

En cuanto a la inclinación de los vectores (proporcional al Cao de los minerales ferromagnesianos), se tiene la seriación habitual, es decir, casi verticales en los términos más básicos hasta unos  $45^\circ$  en las rocas compactas.

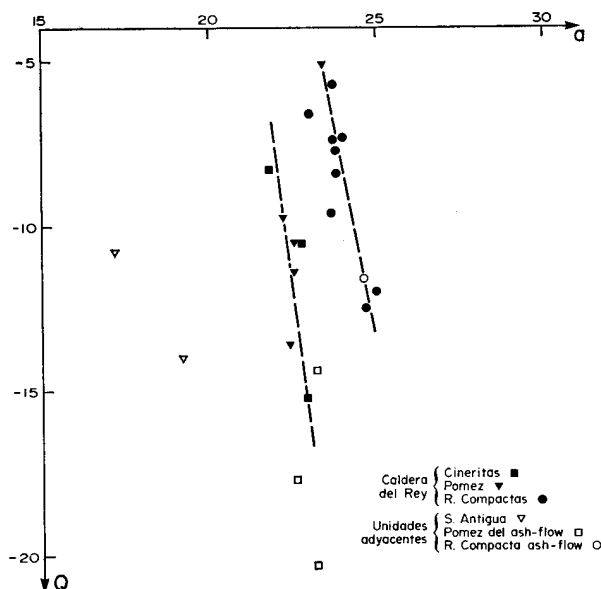


Fig. 19.—Diagrama Q-a de los materiales de la Caldera del Rey y de las Unidades adyacentes.

### Diagrama Q-a

Este diagrama relaciona el grado de subsaturación con la alcalinidad (fig. 19) y en él se observa, como

en anteriores diagramas, que hay una diferencia geoquímica relacionada con la diferencia de la naturaleza del material, así, cineritas y pómez se alinean según una recta, en tanto que las rocas compactas se alinean también en otra paralela de mayor alcalinidad.

Aquí se pone mejor de manifiesto que la alcalinidad (contenido en silicoaluminatos alcalinos) de las rocas compactas es mayor que la del pómez y cineritas, y que el grado de alcalinidad disminuye al disminuir la subsaturación.

### El proceso eruptivo de la Caldera del Rey

#### Tipo de erupción

Uno de los objetivos principales del presente trabajo, es caracterizar el tipo de erupción que produjo la forma morfológica denominada Caldera del Rey.

En el capítulo de descripción de campo, ya se indicó que la Caldera del Rey no era propiamente una caldera volcánica s. s., sino dos cráteres de explosión superpuestos, con caracteres de maars muy acusados.

En este capítulo se discute el carácter de maar de las erupciones, en base a los datos bibliográficos existentes sobre este tipo de erupciones en diversas partes del mundo.

El primer problema surge al intentar encontrar una nomenclatura adecuada, pues un mismo término como maar, viene caracterizado por distintos criterios según el autor que lo utilice. El término maar, es una denominación local proveniente de la región alemana de Eifel, en la cual se da dicho nombre a los lagos que ocupan depresiones de cráteres volcánicos.

En nuestra opinión, cuando hay varias definiciones es preferible aceptar la más extendida. Por ello, hemos consultado un diccionario de nomenclatura geológica, Shieferdeck, Ed. (1959), en el que se tiene "maar (seco): es un cráter ancho, que no se alza mucho sobre el nivel del paisaje, con un fondo seco y más bien plano, rodeado por un anillo de paredes bajas".

Esta es una definición puramente morfológica, a la cual se ajusta perfectamente la Caldera del Rey.

No obstante, otros autores utilizan en sus definiciones criterios no ya morfológicos, sino también genéticos y de tipo de materiales emitidos. Ollier (1967), hace una exhaustiva revisión de las definiciones de maar dadas hasta dicha fecha, señalando los criterios utilizados más frecuentemente. En la tabla 4 se exponen dichos criterios y se establecen comparaciones con la Caldera del Rey.

Cada autor utiliza en su definición uno o varios de estos 15 criterios y, como puede comprobarse, la Caldera del Rey cumple la mayoría de ellos, pero no todos.

Ollier (*op. cit.*), tras la revisión y crítica de las definiciones previas, propone una muy parecida a la del diccionario de Shieferdeck, A. A. G. anteriormente citada:

“Maars son formas morfológicas causadas por explosión volcánica consistentes en un cráter que alcanza o se extiende por debajo del nivel general del terreno, y que es considerablemente más ancho que profundo y en un borde circundante construido por material arrojado por el cráter.”

Lorenz (1973), otro autor que ha dedicado algunos trabajos al estudio de estas morfológicas, da gran importancia al criterio de que los materiales de proyección sean de carácter magmático primario, en cuyo caso originan “tuff-rings”, o sean pertenecientes a la roca encajante, en cuyo caso originan maars.

En cambio Ollier, aunque también cita este criterio (ver tabla 4), no le concede importancia, y simplemente considera a los tuff-rings como un subtipo de maar.

Como resumen de esta revisión de criterios empleados por los diversos autores, podemos concluir que en todas las definiciones hay una serie de rasgos comunes, fundamentalmente de tipo morfológico, rasgos que presenta claramente la Caldera del Rey. Por tanto, creemos conveniente y adecuado considerar a la Caldera del Rey como un maar.

Dentro de los maars, Ollier (*op. cit.*), propone una subdivisión de los mismos, basándose en ejemplos tipo reales con diferentes características de forma, materiales y consideraciones genéticas.

Así, el maar de la Caldera del Rey podría clasificarse por aproximación a uno de estos ejemplos tipo (tabla 5 y fig. 20), como un maar tipo Pulvermaar, que es el más simple y general de los maars que aparecen en la región de Eifel, donde por primera vez se estudiaron estas formas morfológicas volcánicas.

TABLA 4

| CRITERIOS EMPLEADOS                                                  | COMENTARIOS DE OLLIER, 1967                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | COMPARACION CON LA CALDERA DEL REY                                                                                                                                                                                      |
|----------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Presencia o no de un lago en el cráter                               | La presencia de un lago en el cráter no es esencial para la existencia de un maar. En Eifel se dan también “maars secos”. Según FRECHEN, (1959) esto no es correcto, puesto que el agua del lago no tiene conexión directa con la formación del maar.                                                                                                                                                                                                                                                 | Actualmente no hay lago en el cráter, aunque el carácter endorreico de la Caldera del Rey junto con el tipo de depósito sedimentario del fondo indican que posiblemente existió en algún tiempo.                        |
| Profundidad o someridad del maar en relación al terreno circundante. | No es un criterio importante. Se conocen maars de profundidades entre 74 y 212 m., pero también los hay más someros.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | El fondo está aproximadamente al mismo nivel que el terreno circundante.                                                                                                                                                |
| Anillo alto o bajo.                                                  | Muchos autores hablan de “bajo tuff-ring” y “bajos terraplenes” como si la poca altura fuese una característica definitiva de los maars. Se conocen algunos maars altos. En realidad más que altura hay que tener en cuenta bajos ángulos de buzamiento en los bordes. La altura y los buzamientos, sin embargo, son muy útiles para la subdivisión.                                                                                                                                                  | La altura del anillo o borde de la Caldera del Rey oscila entre 45 y 25 m. en el primer cráter y entre 85 y 95 m. en el segundo cráter. Los buzamientos de las capas externas son muy suaves ( $15^\circ - 20^\circ$ ). |
| Diámetro del cráter                                                  | Usualmente mayor que los cráteres de escoria y más pequeños que las calderas (5 km. o más). Hay mucha diferencia entre los diámetros de los maars, desde unos 100 m. a 1500 m. (aunque la mayoría se sitúan alrededor de 400 m.). Excepcionalmente pueden llegar a 3 Km.                                                                                                                                                                                                                              | Los diámetros de los dos cráteres que forman la Caldera del Rey son 750 x 1450 m. y 1450 x 1100 m. para el primero y segundo respectivamente.                                                                           |
| Forma circular o no                                                  | La mayoría son circulares, aunque algunos tienen forma irregular.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | La Caldera del Rey tiene forma de ocho, debido a la imbricación de dos cráteres circulares.                                                                                                                             |
| Anillo o reborde simétrico o asimétrico.                             | La mayoría tienen un reborde asimétrico, con pendientes externas muy suaves y pendientes internas muy fuertes.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Los bordes de los cráteres son asimétricos, con suaves pendientes hacia el exterior ( $15^\circ - 20^\circ$ ) y más inclinadas hacia el interior ( $30^\circ - 40^\circ$ ).                                             |
| Fondo plano o en forma de embudo.                                    | COTTON, (1944) exige cráter en forma de embudo para los maars. Sin embargo, la mayoría de los maars tienen un cráter con fondo ancho y plano. Es un carácter significativo en consideración de la fluidización en relación con la formación de los maars.                                                                                                                                                                                                                                             | El fondo del cráter de la Caldera del Rey es ancho y plano.                                                                                                                                                             |
| Estructuras de colapso o caracteres constructivos.                   | La mayoría de los maars carecen de materiales buzando hacia el interior y como no hay ningún proceso posible que deposite materiales sólo hacia afuera, hay que pensar que han existido colapsos y deslizamientos en las capas buzantes hacia el interior. Sin embargo, estos procesos han jugado sólo un pequeño papel, siendo los caracteres constructivos los dominantes en la formación de los maars. En las calderas sin embargo, los procesos anteriormente citados juegan un importante papel. | En la Caldera del Rey no existen materiales buzando hacia el interior.                                                                                                                                                  |

TABLA 4 (Cont.)

| CRITERIOS EMPLEADOS                                        | COMENTARIOS DE OLLIER, 1967                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | COMPARACION CON LA CALDERA DEL REY                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Presencia o no de materiales de proyección.                | Si no existen materiales de proyección no debe hablarse de maar, puesto que no estaría claro el carácter volcánico del mismo.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Todos los materiales que forman la Caldera del Rey son de proyección aérea.                                                                                                                                                                                                                              |
| Materiales de proyección primarios o de la roca encajante. | No hay una relación perfecta entre forma y naturaleza de las eyecciones. Se conocen maars de ambos tipos y mixtos. No deberían diferenciarse por este criterio.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | La Caldera del Rey está formada sobre todo por material volcánico sálico de proyección aérea de carácter primario, pero contiene gran cantidad de xenolitos del material encajante.                                                                                                                      |
| Erupciones simples o múltiples.                            | Algunos autores consideran que los maars son debidos a grandes explosiones únicas, sin embargo hay muchos que indudablemente son originados por múltiples explosiones, por tanto la definición de maar no debe excluir las erupciones múltiples.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | La Caldera del Rey es doble (hay dos cráteres imbricados) e incluso dentro de cada cráter se distinguen distintas pulsaciones explosivas que arrojaron distintos tipos de materiales de proyección aérea (cineritas, tobas, etc.).                                                                       |
| Erupción catastrófica o tranquila.                         | Algunos autores dan la impresión de que los maars se forman por erupciones extremadamente violentas o catastróficas.<br>Según RITTMAN (1962) :<br>- Gran explosividad con poca o ninguna lava origina gas-maars (diatremas).<br>- Con algo más de fluidez se producen maars con una delgada capa de piroclastos.<br>- Con igual grado de explosividad pero mayor cantidad de lava se producen maars con paredes anulares piroclásticas.<br>Por tanto, la violencia de las explosiones parece más bien variable y no debe de usarse en la definición.                                                                 | La explosividad de la Caldera del Rey debió ser grande como lo demuestra el hecho de la gran cantidad de materiales arrancados del sustrato. Sin embargo, el hecho de que aparezca estratificación gradada y cruzada indica que las explosiones aunque grandes no debieron ser extremadamente violentas. |
| Erupción freática o no.                                    | Una sugestión frecuente es que los maars se forman por explosión freática debida a la violenta reacción del magma ascendente con el agua subterránea (groundwater). Es un hecho que llama la atención que generalmente los cráteres con borde tobáceo están junto a la costa y los que tienen borde cinerítico están al interior. Sin embargo, algunos como los de Eifel están en zonas desfavorables a la posibilidad de erupciones freáticas.<br>Es dudoso si la erupción freática es importante o incluso necesaria para la formación del maar y por tanto, no debería ser un carácter esencial en la definición. | El que la Caldera del Rey haya sido producida por una explosión freática parece muy probable, tanto por su proximidad a la costa como por la existencia de lapilli acreccionario.                                                                                                                        |
| Mecanismo envolvente o no de fluidización.                 | Según HOLMES (1965), el suelo plano es una característica que indicaría fluidización. Otras características serían material piroclástico muy fino en la base del depósito y la forma redondeada de los fragmentos de mayor tamaño.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | El fondo de la Caldera del Rey es como ya se ha dicho plano. El segundo cráter presenta una base cinerítica muy acusada, sin embargo los fragmentos de mayor tamaño no suelen estar redondeados.                                                                                                         |
| Petrología de los maars.                                   | Los maars arrojan lava basáltica.<br>Sólo RITTMAN (1962), relaciona los maars con lava ácida, pero esto no es así (OLLIER).<br>Los volcanes intermedios y ácidos dan lugar más a menudo a conos simples o calderas.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Los materiales de la Caldera del Rey son de carácter sálico.                                                                                                                                                                                                                                             |

Dentro del tipo Pulvermaar, ya no está muy clara la subdivisión, porque la Caldera del Rey participa, a la vez, de características de varios subtipos: Keilambete, Perrumbete y Wangoom. En la figura 13 se tiene un perfil topográfico donde se advierte la semejanza de la Caldera del Rey con el tipo Pulvermaar de la figura 20. También, al ser dos maars imbricados, podría considerarse de tipo Red Rock. Por tanto, damos el cuadro 5 a título informativo, pero no creemos conveniente asignar la Caldera del Rey a uno de estos subtipos específicos, y continuaremos usando la denominación más general de maar.

#### Mecanismo de erupción

Así como hay relatos de testigos presenciales de erupciones volcánicas convencionales, son muy escasas las referencias de erupciones tipo maar que hayan sido observadas directamente. De hecho, los únicos relatos existentes son los de la erupción del Nilahue, en el sureste de Chile, Muller y Veyl (1957); Illies (1959), citado en Lorenz (1973), que originó un maar, y los de erupciones freatomagmáticas, en las que el magma basáltico se puso en contacto con el agua del mar y originó "tuff-rings": Surtsey, Thorarinson *et al.* (1964), Capelinhos, Machado *et al.* (1962) y Taal, Moore (1967).



TABLA 5

TIPOS DE MAAR (Según OLLIER, C.O., 1967)

| Tipo                                                                                                                                                                         | Subtipo         | Característica fundamental                                                    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|-------------------------------------------------------------------------------|
| Pulvermaar<br>El más simple y general de los maars de Eifel. Incluye a los dos tipos de Holmes (1965): cráteres o chimeneas de explosión (*) y cráteres de fluidización (**) | Keilambete      | Borde bajo y ancho                                                            |
|                                                                                                                                                                              | Tritriya        | Borde alto y de pendiente acentuada                                           |
|                                                                                                                                                                              | Ulmenermaar     | Dominan las rocas de caja en el borde                                         |
|                                                                                                                                                                              | Perrumbete      | Dominan los materiales piroclásticos ígneos en el borde (Tuff-ring)           |
|                                                                                                                                                                              | **Wangoom       | Suelo plano                                                                   |
|                                                                                                                                                                              | *Gemundenermaar | Cráter en forma de embudo                                                     |
| Zuni                                                                                                                                                                         |                 | Maar con cono (s) de escoria dentro del cráter                                |
| Koko                                                                                                                                                                         |                 | Bordes altos y agudos. Fuertes pendientes de las paredes internas y externas  |
| Red Rock                                                                                                                                                                     |                 | Diversos maars imbricados. La típica forma circular no puede ser desarrollada |

Debido a esto, es preciso moverse en el terreno de las hipótesis para explicar el mecanismo de erupción y las características morfológicas de los maars, la más llamativa de las cuales es el gran diámetro de los cráteres.

Para justificar el gran tamaño de los cráteres de los maars se barajan fundamentalmente dos hipótesis:

1. Explosión somera de gran energía, comparable a las explosiones nucleares poco profundas,

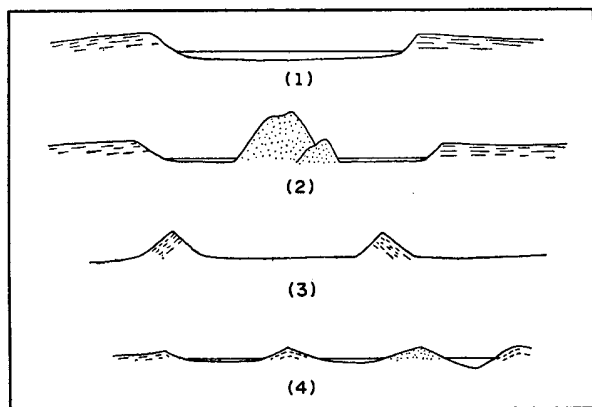


Fig. 20.—Tipos de maars: 1: Pulvermaar. 2: Zuni. 3: Koki. 4: Red Rocks. Según Ollier, 1967.

Fisher y Waters (1970), citado en Lorenz (1973).

2. Fenómenos de subsidencia, tanto por hundimiento del techo de la cámara magmática, Frenchen (1962), Jahns (1959) y Noll (1967), citados en Lorenz (1973), como por fallas circulares (ring-faults) alrededor del cráter y fenómenos de deslizamiento (slumping) de las paredes, Lorenz (1973).

En cualquier caso, la mayoría de los autores están de acuerdo en que la erupción de un maar se produce con gran explosividad y, por tanto, con presencia de una fase gaseosa importante.

A partir de aquí, se dividen las opiniones en dos grupos: a) La fase gaseosa está formada principalmente por gases ígneos magmáticos. El magma es originalmente rico en fase volátil. b) La fase gaseosa es principalmente vapor de agua no magmático. El magma ascendente se pone en contacto con agua subterránea, calentándola y transformándola en vapor, lo que origina fenómenos de explosividad.

Holmes (1965) divide los "ring-cráteres" (maars) en dos tipos: cráteres o chimeneas de explosión y cráteres de fluidización.

Este autor considera, pues, el mecanismo de fluidización como responsable de la formación de parte de los maars.

La fluidización es un mecanismo que explica el transporte de partículas sólidas suspendidas en un gas turbulento. La mezcla de partículas sólidas y gas se comporta como un líquido. El flujo gaseoso ascendente va concentrándose en sentido vertical, abriendo canales que llegan a producir formas cilíndricas. Donde hay agua intersticial presente, se transforma en vapor y coopera en el trabajo de desintegración. La mayoría de los maars estudiados son de tipo basáltico, magma con relativamente escasa cantidad de gases, por lo que muchos autores dan mayor importancia a la intervención de agua no magmática. Son las erupciones freatomagmáticas.

Al igual que existe un cierto confusionismo en la nomenclatura y definición de maars, también existe en la de los términos freático y freatomagmático.

Ollier (1974) hace una revisión crítica detallada de las definiciones dadas por los distintos autores para los anteriores términos.

Quizá la clasificación más útil y usada es la de Stearns y MacDonald (1946), citado en Ollier (1974), que utiliza el término general de "hidro-explosión" para cubrir todos los casos de erupciones en los que se ha generado vapor de agua debido al contacto del magma con agua no magmática. Las hidroexplosiones se subdividen en cuatro tipos:

1. Submarinas, cuando la erupción del magma es a través del agua del mar.

2. Litorales, cuando una colada se introduce en el mar.
3. Freáticas, cuando se genera vapor a partir del agua subterránea y ocurren explosiones, pero no se emiten materiales magmáticos.
4. Freatomagmáticas, se genera vapor a partir de agua subterránea por contacto de ésta con un magma ascendente. Durante la explosión se emiten materiales magmáticos, así como fragmentos pulverizados de la roca encajante.

Las erupciones freatomagmáticas se distinguen, pues, de las puramente magmáticas porque en éstas el mayor volumen de gas es magmático.

Uno de los datos a favor de que las erupciones freatomagmáticas originan maars es el hecho de que se ha visto que una misma erupción ha dado lugar a conos de cinder en lo alto de las colinas y en las laderas, en tanto el mismo magma ha originado maars cuando ha salido en el fondo de los valles, por lo que el agua asociada con los valles se cree ha tenido gran influencia en el mecanismo de la erupción y ha condicionado la forma morfológica del edificio volcánico.

Según Ollier (1974), los maars pueden originarse por erupciones freatomagmáticas, erupciones freatomagmáticas fluidizantes o por erupciones puramente fluidizantes. El citado autor, sugiere que las erupciones freatomagmáticas fluidizantes han sido el mecanismo dominante en la formación de los maars.

Este mecanismo no sería el de fluidización propiamente dicho, descrito por Holmes, es decir, el de una mezcla ascendente de partículas sólidas y gas, sino un magma muy cargado de gases y de vapor de agua por un lado, y de fragmentos sólidos de la roca encajante que va arrancando durante su ascenso, por el otro. Este magma, en su ascenso, iría horadando la roca encajante dando lugar a la formación de un diatrema. Cerca de la superficie tendrían lugar fenómenos de explosividad.

En el caso de la Caldera del Rey, tenemos que, por un lado, el magma originado es de carácter sálico y, por tanto, muy rico en fase volátil. Por otra parte, la aparición de lapilli acreccionario nos indica la presencia de vapor de agua liberado durante la erupción. Sin embargo, no aparecen, al menos claramente, otras estructuras como las presentes en los depósitos de "base-surge", típicas de erupción a través de una capa de agua.

Los depósitos de base-surge, así como sus estructuras, están tratadas en detalle por Moore (1967) y Fisher y Waters (1970).

Los base-surge son corrientes densas y turbulentas de vapor y partículas sólidas, que se desplazan radialmente y a grandes velocidades laderas abajo del cráter, a partir de la base de una columna vertical ascen-

dente eyectada explosivamente. Estratificación ondulada, estratificación cruzada, estratificaciones tipo duna y antiduna y canales de erosión excavados radialmente al cráter, en los depósitos previamente depositados a la nube, son las estructuras más frecuentes en estos depósitos.

Tampoco aparecen, ni en las tobas ni en las cineritas de la Caldera del Rey, texturas de tipo hialoclastico, que lógicamente deberían existir si el magma se hubiese enfriado directamente en contacto con el agua.

En la Caldera del Rey, por todo esto, nosotros suponemos que la fase gaseosa magmática debió de ser muy importante, y que la fase vapor de agua, si bien está presente, como lo demuestra el hecho de la existencia de lapilli acreccionario, no debió de ser fundamental, ya que dicho lapilli forma únicamente niveles concretos en el segundo maar y, como ya se ha indicado, no existen fenómenos de "base-surge" claros. Sería, por tanto, una erupción en la que el vapor de agua implicado no significaría el volumen más importante de la fase volátil, siendo, por el contrario, los gases magmáticos los principales responsables de la erupción.

El grado de fragmentación del magma pudiera ser otro argumento de distinción entre productos derivados de erupciones magmáticas y freatomagmáticas.

En erupciones magmáticas, la fragmentación es debida a la exolución de volátiles y expansión de los mismos. La fragmentación produciría un tamaño de grano relativamente grueso. En erupciones freatomagmáticas, la fragmentación de las partículas es mucho mayor, pudiendo, además, venir facilitada por una inicial fragmentación del magma producida por gases magmáticos. El tamaño del grano estaría, pues, condicionado a las distintas proporciones en la mezcla de ambos gases.

Los depósitos de la Caldera del Rey presentan, en general, una granulometría fina, sin embargo, pueden distinguirse, a grandes rasgos, dos tipos de depósitos con diferente granulometría: tobas y cineritas. Las cineritas representarían fases de mayor explosividad, en donde la fase vapor de agua tendría mayor influencia. El hecho de que el lapilli acreccionario aparezca en estos niveles, confirma lo anteriormente expuesto.

En el capítulo de descripción de las características generales de la erupción se había sugerido la posible formación de un pequeño lago entre la explosión del primer maar y la del segundo. De admitirse esto como la única posible fuente de agua, la cantidad sería muy pequeña y se transformaría totalmente a vapor, reflejándose únicamente en la formación de lapilli acreccionario en los primeros depósitos del segundo maar, pero sin que en ningún caso se formasen hialoclastitas. En este caso, para explicar también la presencia del vapor de agua que originase lapilli acreccionario en depósitos más superiores del segundo maar, habría que pensar en otra fuente acuosa. Por

tanto, aún sin hechar a la posible formación de dicho lago, creemos que esta no debió de ser la única fuente de agua que se pusiera en contacto con el magma, sino que podrían existir infiltraciones de agua debidas, quizá, a la proximidad del mar y a la pequeña altura de la Caldera del Rey sobre el nivel del mismo.

En la erupción de la Caldera del Rey no puede hablarse de una explosión única y potente que en un sólo estadio originase el cráter, ya que el hecho de que existan sucesivas capas extratificadas, además de no existir señal alguna (paleocauces, discordancias, suelos, etc.) nos demuestra que la energía no ha sido liberada de una sola vez, sino que se ha ido gastando en sucesivas pulsaciones eruptivas muy seguidas en el tiempo.

La existencia de estratificaciones dentro de la Caldera ha quedado suficientemente ilustrada en las fotografías precedentes. Sin embargo, Hausen (1956), cuando habla de la Caldera del Rey, dice que "la estratificación no es tal, sino una ilusión óptica producida por la diagénesis desigual del material tobáceo". En realidad, no hay tal "diagénesis", sino más bien una desigual alteración meteórica, que efectivamente resalta la estratificación original.

Hemos visto que algunos autores consideran que el mayor volumen de los materiales arrojados por los maars, no son sino la roca caja pulverizada por la explosión.

En nuestro caso, no se han hecho cálculos matemáticos del volumen de los materiales magmáticos emitidos en relación con los arrancados del sustrato y con el volumen total del cráter. Sin embargo, el gran volumen de cineritas y tobas parecen ser magmáticas.

Muchos maars citados en la literatura hacen erupción a través de materiales no volcánicos, pero en el caso que nos ocupa la explosión ha tenido lugar a través de materiales volcánicos. Esto ha llevado a algunos autores (Hausen, 1956), a la confusión de interpretar que todos los materiales emitidos eran roca del sustrato pulverizada por la explosión. Sin embargo, es claro que todas las tobas, cineritas y gran parte de las rocas compactas sálicas pertenecen al magma que originó la erupción de la Caldera del Rey, representando los materiales basálticos la roca encajante fragmentada por la explosión.

El gran volumen de los materiales en este sector de la isla es basáltico. No existen espesores potentes de rocas sálicas exteriores a la Caldera que hubiesen originado un edificio con cineritas y tobas de carácter tan homogéneo. Aparte de los datos de observación en el terreno, en nuestra opinión, suficientemente claros, contamos con los datos geoquímicos que ponen de manifiesto un parentesco geoquímico entre todos los materiales de la Caldera del Rey, bien diferenciado de materiales sálicos próximos geográficamente, pero pertenecientes a otros ciclos eruptivos.

Otro carácter de la Caldera del Rey, que es también común a la mayoría de los maars y erupciones

freatomagmáticas, es la no existencia de coladas, sino que la erupción se reduce a la emisión de material tipo piroclástico.

Araña y Afonso (1969), hablan de coladas basálticas interestratificadas entre los materiales de proyección aérea de la Caldera del Rey. Este dato es erróneo, como ha sido confirmado por nuestras observaciones de campo.

El gran diámetro del cráter de la Caldera del Rey pudiera explicarse por fenómenos de deslizamiento de las paredes internas del borde y posterior subsidencia a lo largo de un ring-fault.

La no aparición en el borde del cráter de capas buzantes hacia el interior, es decir, el que las laderas internas sean una sección a través de las capas externas, indica evidencia de importantes fenómenos erosivos que ensancharon el cráter. Sin embargo, el estado actual del borde, no permite identificar "cicatrices" de despegue o "terracillas" que pudieran indicarnos qué tipo de mecanismo produjo tal ensanchamiento.

El hecho de que el fondo de la Caldera esté, en parte, aplanado por medios artificiales para su cultivo, hace igualmente difícil identificar posibles huellas de fallas circulares (ring-fault) a través de las cuales subsidieran los materiales erosionados del borde. No obstante, las observaciones en campo hacen intuir fenómenos de subsidencia.

Como consecuencia de todo lo expuesto sobre el mecanismo de erupción de la Caldera del Rey, podemos hacer el siguiente resumen:

- a) Magma sálico, cargado de fase volátil, que hace erupción aprovechando una posible dirección de debilidad (N 35° E), de importancia regional en el archipiélago.
- b) Esta erupción sería de gran explosividad, debida, por una parte, a la abundancia de gases magmáticos y, por otra, a la posible interacción con agua subterránea.  
Esta gran explosividad se demuestra por el hecho de que pasó a través de la formación Basáltica Antigua, fragmentándola totalmente, de modo que los materiales tobáceos contienen gran cantidad de cantos xenolíticos basálticos.
- c) La influencia del agua durante esta fase explosiva, sería relativamente pequeña, puesto que no existe lapilli acreccionario y en su base se formó un aglomerado de tipo ignimbrítico.
- d) Etapa de interrupción en la actividad magmática, sobre cuya duración no tenemos datos, pero que creemos no demasiado prolongada, puesto que no dio lugar a la formación de discordancias erosivas ni depósitos sedimentarios intercalados.

- e) Nueva etapa de actividad magmática a través de la misma fractura.

El magma, asimismo cargado de fase volátil, al entrar en contacto con las aguas infiltradas y quizás con las del pequeño lago formado en el cráter del primer maar, tendría una gran explosividad que originó un cráter mucho mayor que el primero, al que destruyó en parte.

- f) La mayor influencia del agua queda demostrada por la aparición de lapilli acreccionario, tanto en la base como en los sucesivos techos cineríticos.
- g) El que tampoco en este segundo maar la importancia del agua haya sido definitiva, lo indica el hecho de que no existen texturas de tipo hialoclastítico en sus materiales, ni tampoco fenómenos típicos de base-surge.
- h) Las explosiones que dieron lugar a estos maars, tuvieron sucesivas pulsaciones, como lo demuestra el hecho de que existan alternancias de capas de distintos tipos de material: tobas pumíticas, tobas heterogéneas, cineritas, etc. Dentro de cada una de estas capas, existe también estratificación gradada, hecho que igualmente denota sucesivas etapas explosivas.
- i) Posteriores fenómenos de erosión y subsidencia a lo largo de un posible ring-fault, hubieran originado la gran anchura actual del cráter.
- j) La acción de los gases magmáticos habría originado en profundidad fenómenos de fluidización con formación de un diatema, si bien no debieron ser muy intensos, puesto que los cantos basálticos xenolíticos no siempre están redondeados.
- El suelo plano del interior del maar, así como materiales de granulometría muy fina (cineritas) en la base de los depósitos de la Caldera del Rey, serían, según Holmes, datos que apoyarían la existencia del fenómeno de fluidización.

## Conclusiones

Del conjunto de los datos de campo, petrográficos y geoquímicos, obtenidos en la realización del presente trabajo, se han deducido las siguientes conclusiones respecto a:

### Morfología. Estructuras. Edad

1. La morfología de la Caldera del Rey, formada por dos cráteres imbricados, ambos de gran diámetro (~ 700 m. y ~ 1.250 m.), pequeña al-

tura (~ 30 m. y ~ 90 m.) y bordes estratificados con suave buzamiento hacia la periferia (~ 15°) nos la definen como un doble maar.

2. El borde de la Caldera está formado por materiales de proyección aérea, excepto la zona norte del segundo maar, la cual queda delimitada por la Serie Basáltica Antigua.

La deposición aérea de estos materiales produce diversas estructuras: estratificación cruzada de origen eólico, estratificación gradada, estructuras de impacto (bomb-sag).

En estos depósitos cineríticos aparece abundante lapilli acreccionario, que se supone formado en el aire por floculación de cenizas finas con el vapor de agua. En la caída algunos de estos lapillis se rompen y disgregan.

También en los niveles cineríticos aparecen unas estructuras esféricas, que se suponen formadas a partir de perturbaciones puntuales de tipo geoquímico, por fenómenos de difusión o infiltración metasomática.

3. La edad exacta de la Caldera del Rey no ha podido ser determinada, por no haberse encontrado restos fósiles y haber surgido dificultades en el método de datación radiométrica ( $C^{14}$ ) de restos carbonosos.

La edad relativa obtenida encajando vulcanoestratigráficamente esta formación entre otras manifestaciones volcánicas próximas, es Pleistoceno.

### Petrología y geoquímica

1. No hay diferencias petrográficas entre los materiales comunes de ambos maars, pero sí existen materiales que sólo aparecen en uno de ellos: cineritas (segundo maar) y aglomerados (primer maar).
2. En las cineritas, sólo se observan acículas feldespáticas en un material criptocristalino, isotropo. Son frecuentes pequeños fragmentos líticos, tanto sálicos como básicos.  
Las tobas pumíticas tienen abundantes fragmentos de pómez con textura hialina, muy porosa. Contienen también algunos fragmentos minerales, principalmente sanidina y anfíbol. La matriz de abundancia variable, es cinerítica. En las tobas heterogéneas existen fragmentos de pómez y fragmentos de rocas sálicas, así como fragmentos de rocas basálticas.
3. Tanto los fragmentos de pómez como los de rocas sálicas poseen una serie de características petrográficas comunes, que nos llevan a considerarlos como procedentes del mismo magma que originó la erupción.

4. En los fragmentos basálticos se reconocen los mismos tipos petrográficos existentes en la Serie I, por lo que pueden considerarse claramente xenolíticos.

Existe una relación directa entre la naturaleza de la roca y el quimismo: cineritas-pómez-rocas compactas. Hay, por tanto, una diferenciación condicionada por el modo de extrusión (explosividad).

5. El hecho de que las rocas compactas de la Caldera del Rey tengan todas una composición geoquímica similar y distinta de la composición geoquímica de los xenolitos sálicos y de las rocas sálicas próximas geográficamente nos confirma la hipótesis de que gran parte de los fragmentos de rocas sálicas compactas incluídas en tobas y cineritas de la Caldera del Rey son comagmáticas.
6. El carácter no cogenético del ash-flow de fuera de la Caldera, con los materiales que constituyen la misma que era dudoso con los datos de campo, ha quedado confirmado tanto por los caracteres petrográficos (aparición de hauyn en la unidad ash-flow) como por su quimismo diferente.

#### Mecanismo de erupción

7. La erupción del maar de la Caldera del Rey sería explicada por el ascenso de un magma sálico, rico en fase volátil a través de una posible dirección de debilidad N 35° E.
8. El gran contenido en gases, así como la posible interacción con agua subterránea, serían causantes de una gran explosividad, responsable de la apertura de los grandes cráteres y de la fragmentación de las series basálticas subyacentes.
9. Se considera, por tanto, un mecanismo de erupción magmática y freatomagmática con emisión exclusiva de materiales de proyección aérea cargados de xenolitos, pero sin que en ningún caso se originasen coladas.
10. La ascensión de gases magmáticos y vapor de agua originaría fenómenos de "fluidización" en los materiales subyacentes con posible formación de un diatrema en profundidad.
11. Fenómenos de erosión y subsidencia a lo largo de un posible ring-fault serían los responsables de la gran anchura actual del cráter.

#### Agradecimientos

Hemos de expresar nuestra gratitud a todas aquellas personas que con su colaboración han hecho posible la realización del presente trabajo. Al profesor Alfredo Hernández-

Pacheco por su continuada ayuda y asesoramiento, sobre todo en los aspectos cartográficos, químicos y vulcanológicos. Al doctor Julio de la Nuez Pestana por su ayuda en diferentes facetas, fundamentalmente en la realización de los análisis químicos. Al profesor doctor Salvador Ordóñez por sus sugerencias respecto a la interpretación de la génesis de las estructuras esféricas.

#### Bibliografía

- ALONSO, U.; ARAÑA, V.; CENDRERO, A.; FÚSTER, J. M.; HERNÁNDEZ-PACHECO, A. y NAVARRO, J. M.  
1969. Mapa geológico núm. 1.118-1.124. Granadilla de Abona y Las Galletas. I.G.M.E., con la colaboración del Instituto "Lucas Mallada" (C.S.I.C.).
- ARAÑA, V.; MUÑOZ, M. y FÚSTER, J. H.  
1969. Memoria del mapa geológico núm. 1.118-1.124: Granadilla de Abona y Las Galletas. I.G.M.E., con la colaboración del Instituto "Lucas Mallada" (C.S.I.C.), págs. 1-12.
- ARAÑA Y AFONSO, A.  
1969. Caldera del Rey, Génesis and Evolution. IAVCEI Symposium, Oxford (Abstract).
- ARAÑA, V. y LÓPEZ RUIZ, J.  
1974. *Volcanismo. Dinámica y Petrología de sus productos*. Ed. Istmo, Madrid, 481 págs.
- ARAÑA Y CARRACEDO, J. C.  
1979. *Los volcanes de las Islas Canarias. I Tenerife*. Ed. Rueda, Madrid, 151 págs.
- BRANDLE, J. L.  
1973. Evolución geoquímica de los materiales volcánicos sálicos y alcalinos de la Isla de Tenerife. *Estudios geol.*, 29, 5-51.
- BRAVO, T. y COELLO, J.  
1975. Sedimentos con sienitas nefelínicas en Tenerife. *Estudios geol.*, 31, 501-511.
- DIENI, I. e SPAGNULO, G.  
1964. Lapilli accreccionario nei tufi ladini del Dosso Dei-Morti (Adamello sud-orientale). Estratto dalle Memorie della Accademia Patavina di SS. LL. AA.: Classe di Scienze Matematiche e Naturali, LXXVI, págs. 1-12.
- FERNÁNDEZ SANTÍN, S. y NAFRÍA, R.  
1979. La extrusión fonolítico-traquítica de Montaña de Guaza, Tenerife (Canarias). *Estudios geol.*, 34, 375-387.
- FISHER, R. V. y WATERS, A. C.  
1970. Base Surge bed forms in maar volcanoes. *Amer. J. Sci.*, 268, 157-180.
- FÚSTER, J. M.; ARAÑA, V.; BRANDLE, J. L.; NAVARRO, M.; ALONSO, U. y APARICIO, A.  
1968. Geología y vulcanología de las Islas Canarias, Tenerife. *Inst. "Lucas Mallada", C.S.I.C.*, 218 págs.
- HAUSEN, H.  
1956. *Contributions to the Geology of Tenerife (Canary Islands)*. Soc. Sci. Fennica comment. Phys-Math, 18-1, 1-271.
- HERNÁNDEZ-PACHECO, A.  
1979. Lineaciones estructurales y vulcanismo en el archipiélago canario. Memoria de la III Asamblea Nacional de Geodesia y Geofísica, Madrid (1979), 1565-1589.



- HERNÁNDEZ-PACHECO, A.  
1979a. Mapa Geológico Nacional (MAGNA), núm. 1.118-1.124, III-IV, escala 1:25.000, Los Cristianos. IGME.  
1979b. Memoria del Mapa Geológico Nacional (MAGNA). núm. 1.118-1.124, III-IV, escala 1:25.000, Los Cristianos. IGME, 1-16.
- HERNÁNDEZ-PACHECO, E.; HERNÁNDEZ-PACHECO, F.; ALÍA, M.; VIDAL BOX, C. y GUINEA, E.  
1949. *El Sahara Español, estudio geológico, geográfico y botánico*. C.S.I.C., Instituto Estudios Africanos, Madrid. 808 págs.
- HOLMES, A.  
1965. *Principles of Physical Geology*. Nelson, London, 1288 págs.
- LACROIX, A.  
1904. *La Montagne Pelée et ses eruptions*. París, 662 páginas.
- LORENZ, V.  
1973. On the Formation of Maars. *Bull. Volcanologique*, 37, 183-204.  
1975. Formation of phreatomagmatic maar-diatreme volcanoes and its relevance to kimberlite diatremes. *Physics and Chemistry of the Earth*. Ahrens, Dawson, Duncan, Y. Erlank, Ed. 17-27.
- MACDONALD, G. A.  
1949. Petrography of the Island of Hawaii. *U. S. Geol. Survey Prof. Paper 214-D*, 51-96.
- MACHADO, F.; PARSONS, W. H.; RICHARDS, A. F. y MULFORD, J. W.  
1962. Capelinhos Eruption of Fayal Volcano. Azores, 1957-1958. *J. Geophys. Res.*, 67, 3519-3529.
- MOORE, J. G.  
1967. Base Surge in recent volcanic eruptions. *Bull. volcanologique*, 30, 337-363.
- MOORE, J. G. y PECK, D. L.  
1962. Accretionary lapilli in volcanic rock of West Central U. S. *J. Geol.*, 70, 182-193.
- MÜGGE, O.  
1983. Untersuchungen über die "Lenneporphyre" in Westfalen und den angrenzenden Gebieten. *Neues Jahrb. Beilage-Ban 8*, 535-721.
- MÜLLER, G. y VEIL, G.  
1957. The birth of Nilahue, a new-type volcano at Rini-  
nahue, Chile. *Int. Geol. Congr. Rep.*, 20th, Sect, 1, 232-247.
- OLLIER, C. D.  
1967. Maars. Their characteristics, varieties and definition. *Bull. Volcanologique*, 31, 45-73.  
1974. Phreatic eruptions and maars. *Physical Volcanology*, Civetta, L., Gasparinni, P., Luongo, G. y Rapolla, A. Ed. Developments in Solid Earth Geophysics Elsevier, 1-333.
- PELLICER, M. J.  
1977. Estudio vulcanológico de la Isla de El Hierro (Islas Canarias). *Estudios geol.*, 33, 181-197.
- PERRET, F. A.  
1913. Some Kilauea ejectamenta. *Am. Jour. Sci.*, 4th ser., 35, 611-618.
- RITTMAN, A.  
1963. *Les volcans et leur activité*. Masson et Cie., París, 461 págs.
- SCHIEFERDECKER, A. A. G., Ed.  
1959. *Geological Nomenclature*. Royal Geological and mining Society of the Netherlands. Gorinchem. J. Noorduijn en Zoon N. V., 523 págs.
- SCROPE, P.  
1829. On the volcanic district of Naples. *Geol. Soc. London Trans.*, 2d ser., 2, 337-352.
- STEARNS, H. T.  
1925. The explosive phase of Kilauea volcano, Hawaii in 1924. *Bull. Volcanologique*, 5-6, 193-208.
- STRECKEISEN, A.  
1976. Classification of the common igneous rocks by means of their chemical composition. *N. Jb. Miner. Mh.*, 1-15.
- THORARINSSON, S.; EINARSSON, T.; SIGUALDASON, G. y ELLISON, G.  
1964. The submarine Eruption of the Vestmann Islands, 1963-64. *Bull. Volcanologique* 27, 435-445.
- WENTWORTH, C. K. y MACDONALD, G. A.  
1953. Structures and forms of basaltic rocks in Hawaii. *U. S. Geol. Survey Bull.*, 994, 94 págs.
- WILLIAMS, H.  
1921. The igneous rocks of the Capel Curig District. (North Wales): Liverpool. *Geol. Soc. Proc.*, 13, 3, 166-202.

Recibido el 17 de octubre de 1984.  
Aceptado el 18 de diciembre de 1984.