

EXEMPLAR
COMPLETO

DEPRESIONES FORMADAS POR
DESLIZAMIENTO GRAVITACIONAL
EN TENERIFE

J.M. NAVARRO LATORRE - J. COELLO
Noviembre de 1989

MARCO GEOLOGICO DE TENERIFE

Tenerife forma un macizo montañoso que se alza 7 km sobre un fondo oceánico más o menos plano. La configuración del bloque insular se asemeja a una pirámide de base triangular (Fig.1) cuyo vertice está situado en el Pico Teide (3.718 m sobre el nivel del mar).

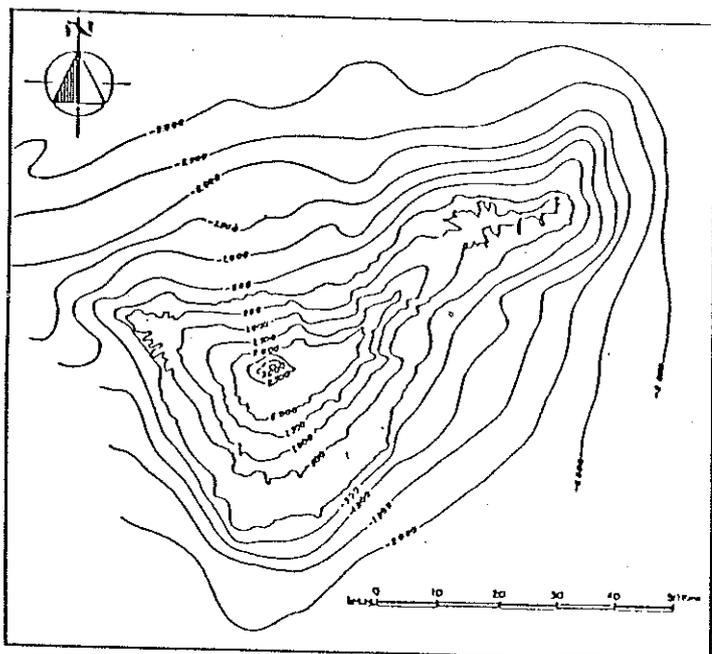


Fig.1.- Orografía de Tenerife acompañada de las curvas batimétricas. La porción sumergida mantiene la misma configuración de base triangular que existe en la porción emergida, sugiriendo que las estructuras que han controlado el crecimiento del relieve se han mantenido constantes desde el estado formativo inicial en el fondo oceánico.

El crecimiento del relieve ha tenido lugar por acumulación gradual de materiales volcánicos, según un proceso que se ha prolongado durante varias decenas de millones de años y que continúa en la actualidad, como queda testimoniado por la ocurrencia de varias erupciones históricas. Estos materiales pertenecen a la asociación de los basaltos alcalinos. El ascenso y la emisión del magma se ha verificado preferentemente a través de tres franjas dinámicas dentro del bloque insular, conocidas como ejes estructurales que convergen en el centro de la Isla con ángulos de unos 120° (Fig.2). El crecimiento paulatino del relieve ha estado vertebrado siempre en torno a los tres ejes, por lo que éstos coinciden con las aristas de la pirámide insular (dorsales topográficas), las cuales muestran en superficie una densa agrupación de centros de emisión, mientras que en su subsuelo existe un extraordinario número de diques más o menos verticales, paralelos al eje en que se encuentran (Fig.3).

La actividad volcánica no ha sido constante ni homogénea a lo largo de la historia geológica conocida. Las fluctuaciones de intensidad del volcanismo, así como los cambios en la composición de los productos emitidos, han determinado variaciones verticales y laterales en las agrupaciones litológicas y, aunque con limitaciones, es posible hablar de unidades estratigráficas. Los mate-

riales que conforman la porción emergida (y conocida) de la Isla se agrupan en dos grandes conjuntos: 1) Serie Basáltica I, y b) Formaciones Postmiocenas; la emisión de ambos estuvo separada por un largo periodo de calma eruptiva durante el cual fue seriamente dismantelado el edificio insular preexistente.

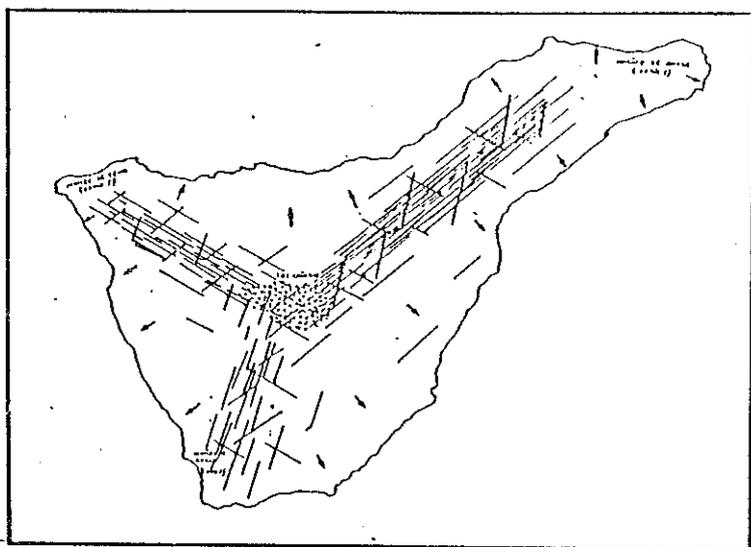


Fig.2 .- Esquema de distribución predominante de los diques en el subsuelo de Tenerife. El punteado corresponde a la zona de intrusiones fonolíticas (Según Navarro, 1974).

La Serie I aflora en algunos macizos de morfología muy escarpada, pero en el resto de la Isla queda recubierta por las Formaciones Postmiocenas. Los rasgos más distintivos de esta unidad cronológica, que tiene una edad comprendida aproximadamente entre 4 y 11 m.a., son el avanzado grado de alteración y su aparente uniformidad: apilamiento de centenares de coladas y horizontes piroclásticos monotonamente basálticos, acompañados de un cortejo de diques de la misma naturaleza. Más en detalle, sin embargo, es posible diferenciar dentro de ella edificios singulares de grandes dimensiones (macizos de Anaga y Teno, por ejemplo, Fig.4).

Las Formaciones Postmiocenas corresponden a una reanudación de la actividad eruptiva que se inició hace unos 2-3 millones de años y que, prácticamente sin interrupciones, llega hasta la actualidad. Los materiales que comprende tienen una variabilidad composicional mucho mayor que los precedentes y abarcan toda la gama de transición basaltos-traquibasaltos-fonolitas/traquitas. Aunque al principio de este periodo las emisiones parecen ser predominantemente basálticas en toda la Isla (Serie II), pronto comienzan a aparecer tipos diferenciados; la distribución espacial de éstos últimos no sigue pautas arbitrarias sino que muestra una cierta ordenación dentro del esquema triple de ejes estructurales. De este modo, las rocas más evolucionadas se encuentran casi exclusivamente en la zona de intersección, donde forman un casquete que llega a alcanzar casi 1000 m de espesor, conocido como Edificio o Serie Cañadas, mientras que fuera de la intersección se emiten traquibasaltos y basaltos. Esta ordenación está bien ilustrada por la actividad más reciente: mientras que

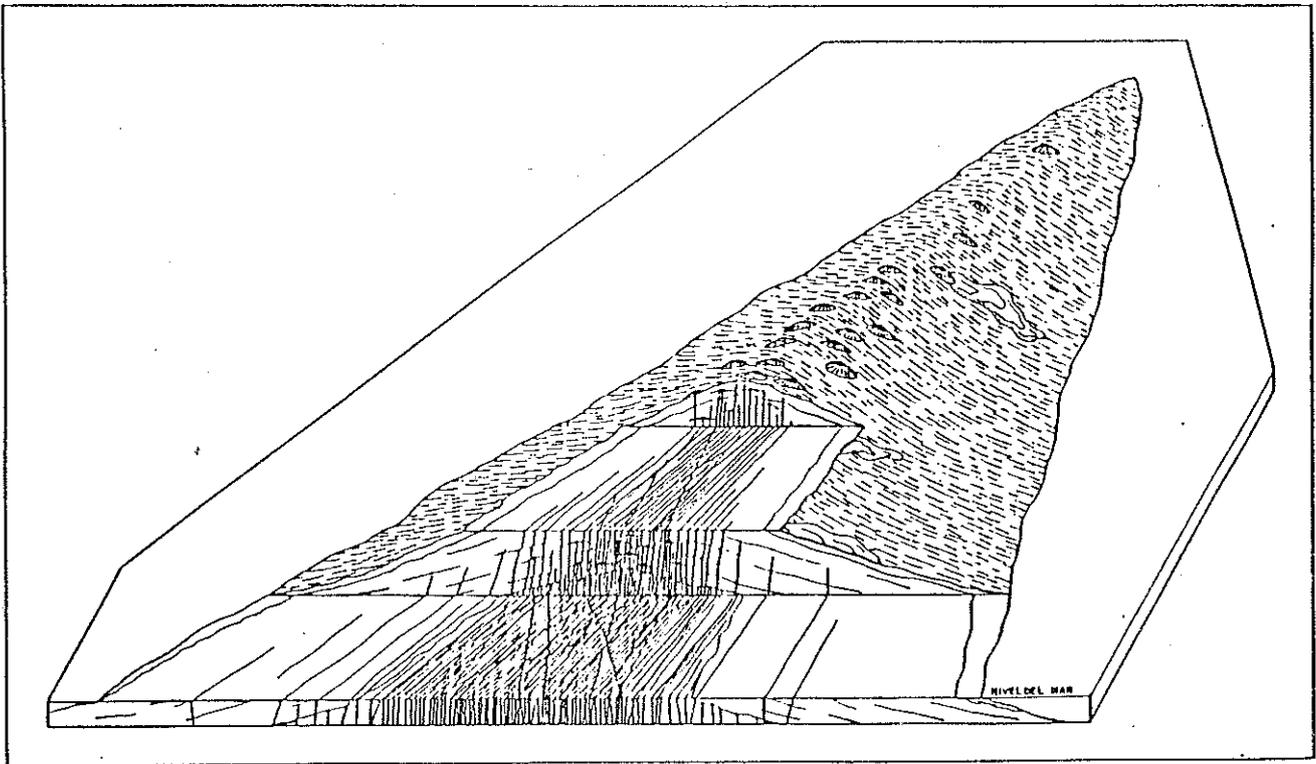
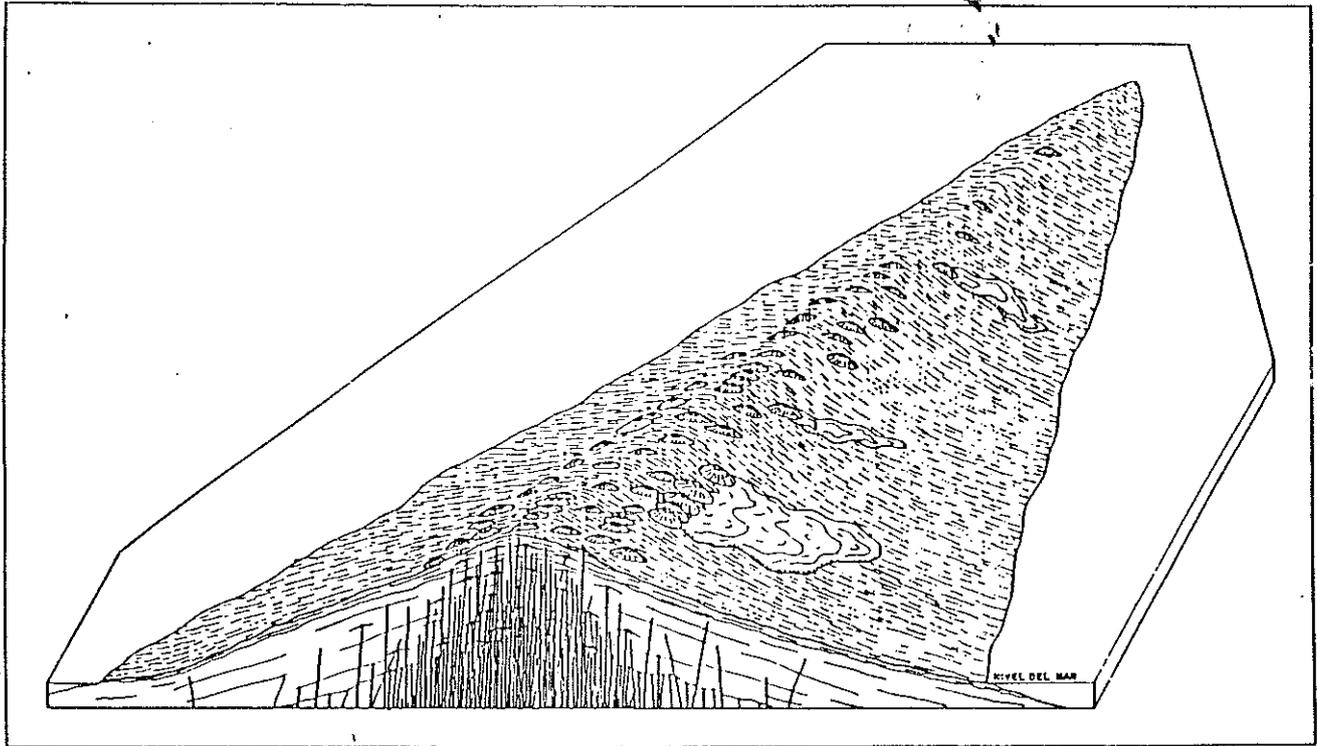


Fig.3 .- Esquema de dorsales topográficas con agrupamiento de centros de emisión en superficie y red filoniana en el subsuelo. La densidad de la red decrece hacia los lados y hacia el techo (Según Navarro y Farrujia, 1988).

en el centro de la Isla (alrededor del Teide) hay volcanismo de tipo traquítico/fonolítico, en el segmento medio del eje NW se están emitiendo traquibasaltos, y en el extremo del eje sólo se dan emisiones basálticas.

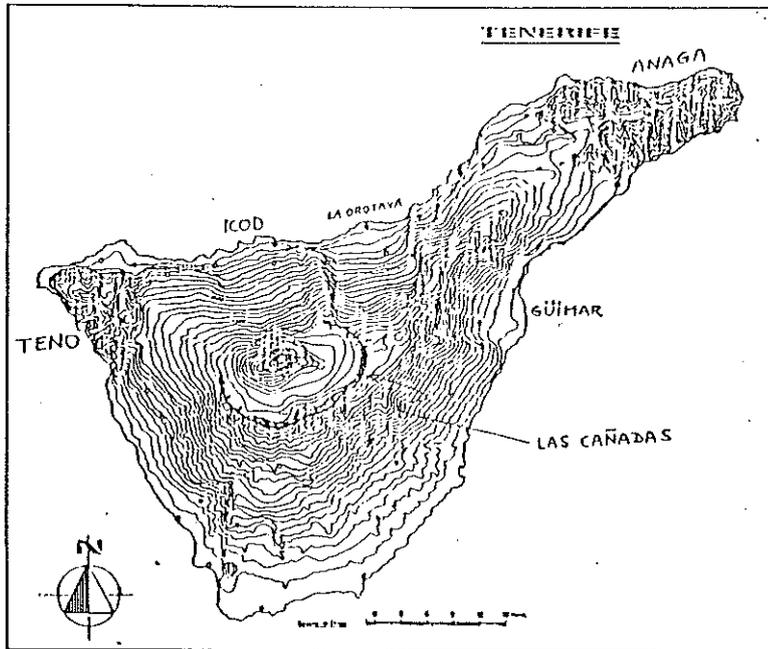


Fig.4 .- Topografía de Tenerife.

DEPRESIONES ANOMALAS: LOS VALLES DE LA OROTAVA Y GUIMAR

La red de drenaje superficial de la Isla está representada por una apretada trama de barrancos, más o menos encajados, que divergen desde las dorsales topográficas o que adquieren una tendencia radial en la porción central del bloque insular. Independientemente de la profundidad que alcanzan, en ocasiones superior a 700 m, su perfil transversal es siempre el clásico en V que resulta de la erosión fluvial o torrencial.

En contraste con los anteriores, hay, sin embargo, algunos grandes "valles" (Güímar y La Orotava, Fig.4), dotados de una morfología muy peculiar, no explicable por las mismas causas erosivas que han creado la red de drenaje normal. Los rasgos distintivos de estas enormes depresiones abiertas hacia el mar, pueden ser esquematizados como sigue:

1) El fondo de 7-10 km de anchura, es un plano inclinado hacia la costa y está constituido por lavas ~~mucho~~ ^{mucho} más jóvenes que los materiales de las paredes.

2) Las paredes laterales son ~~muy~~ rectilíneas y de varios centenares de metros de altura; tienen pendientes próximas a la vertical y, al alejarse del mar tienden a ganar altura y a separarse progresivamente una de otra, con lo que el valle es ~~mucho~~ más ancho en la cabecera que en la costa.

3) La cabecera tiene forma de anfiteatro y está emplazada en algún segmento de los ejes estructurales, es decir, en zonas en que el crecimiento del relieve por acumulación de materiales volcánicos sucesivos ha sido máximo.

Estas depresiones anómalas, ya descritas por los geólogos del siglo pasado, han sido interpretadas de formas muy diversas por autores que no pudieron disponer de datos sobre la estructura del subsuelo, y así han sido definidos como 1) valles intercolinares, es decir, franjas deprimidas entre dos macizos volcánicos de fuerte crecimiento (Fritsch y Reiss, 1868), 2) depresiones tectónicas controladas por fallas normales (Hausen, 1956), 3) calderas de subsidencia del tipo "trap-door", con mayor altura de colapso en la región de cabecera (Ridley, 1971).

El problema del origen de estos valles queda más centrado, sin embargo, cuando se dispone de información directa del subsuelo, y en este sentido Tenerife ~~es tal vez, un lugar único en el mundo.~~ ^{es tal vez, un lugar excepcional}. La Isla, carente de cursos permanentes de agua, pero con clima y suelo muy favorables para la agricultura, ha sido perforada desde comienzos de siglo por centenares de galerías horizontales que extraen el agua subterránea (Fig.5). ^{la mayor parte de ellas} Estas perforaciones ~~tienen una longitud media que oscila entre 3 y 4 km, pero~~ ^{de longitud} en algunos casos llegan a sobrepasar los 6 km; su sección transversal es de unos 2x2 m, de modo que resultan perfectamente accesibles y proporcionan una información que, al ser directa, no puede ser superada por otros métodos, como los geofísicos, por

ejemplo.

Utilizando las galerías, Bravo (1962) comprobó que las paredes de estos valles no correspondían a fallas directas y, al mismo tiempo, encontró que, bajo la cobertera de lavas recientes, existía una formación enigmática, que él denominó fanglomerado (o mortalón en el argot de los perforadores de galerías), al que atribuyó un origen explosivo y una posición estratigráfica profunda (entre la Serie I y la Serie II). El mortalón es una brecha caótica y extraordinariamente potente, ya que no ha podido ser atravesada por galerías que se han adentrado en él más de 1 km en la horizontal. Está formada por clastos angulosos muy heterométricos, dispersos en una matriz arcillo-arenosa que se comporta de modo plástico ante esfuerzos prolongados. Los fragmentos pertenecen a todos los tipos litológicos presentes en la Isla, y no son infrecuentes rocas granudas de origen subvolcánico e incluso troncos de árboles que, aunque transformados en carbón, conservan una morfología externa reconocible en sus detalles, por lo que puede ser identificado el género (Bravo, 1962).

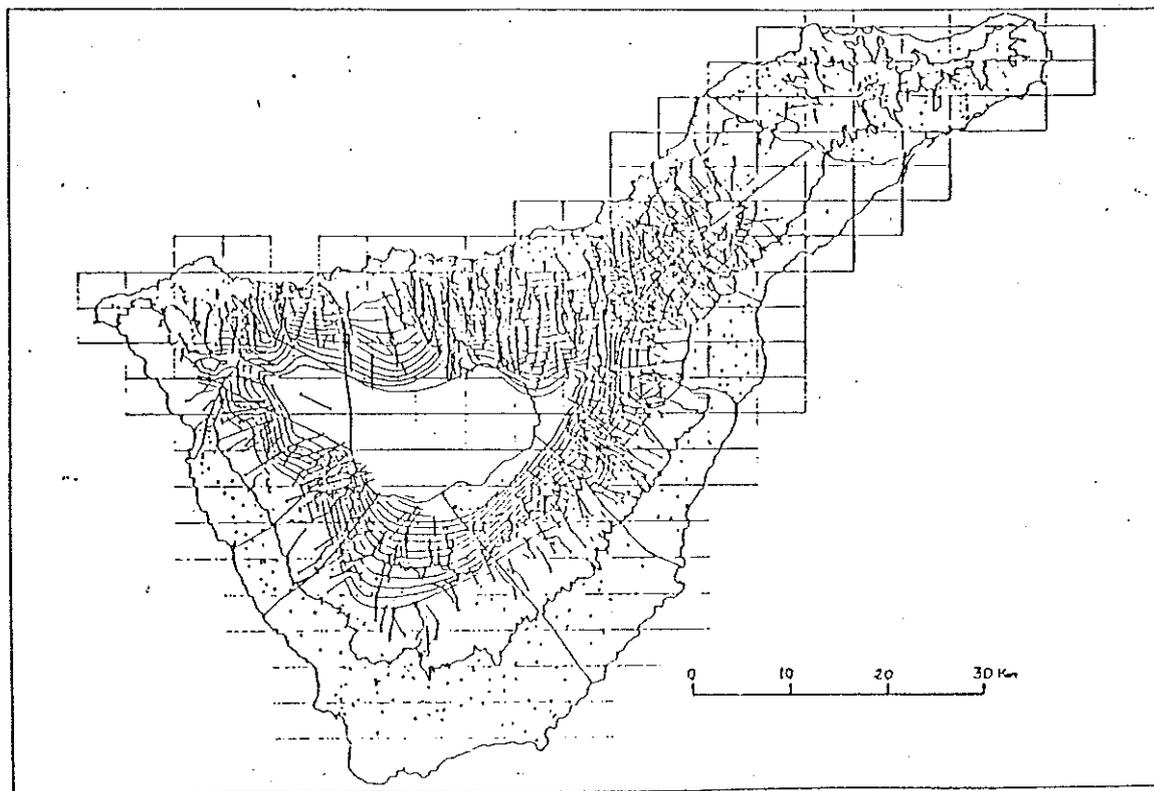


Fig.5 .- Distribución de las galerías de captación de agua subterránea (Fuente: Plan Hidrológico Insular).

Los dos hechos mencionados condujeron a Bravo a rechazar todas las hipótesis formuladas previamente y a postular para estas amplias depresiones un origen por deslizamiento: bloques inestables apoyados en el mortalón, plástico y empapado en agua, resbalan sobre la superficie de éste hacia el mar. Tan colosales

deslizamientos (unos 100 km³ en cada valle) eran difícilmente admisibles por los geólogos en el momento en que la hipótesis fue formulada (1962), y no es de extrañar que en años posteriores fuesen buscados otros mecanismos alternativos, aunque esto supusiese resucitar esquemas tan faltos de apoyo real como los "valles intercolinares", o tan poco verosímiles como la caldera de subsidencia tipo "trap-door".

Hoy en día se dispone de mejor información del subsuelo (las galerías son más largas y más numerosas), pero, sobre todo, ha tenido lugar la erupción del St. Helens (USA, 1980), en donde se produjo el deslizamiento en masa de la cumbre del volcán (2.3 km³), que fluyó en forma de avalancha fragmentaria, dejando detrás un hueco en forma de herradura de 2 km de anchura, con paredes verticales de hasta 700 m de altura. Con tal ejemplo real, impensable antes de que se produjese, la hipótesis de deslizamiento de Bravo se ha visto reforzada, aún cuando pueden ser modificados algunos detalles, como el significado del mortarlón, que dan más coherencia al cuadro general. La sucesión de eventos es la siguiente (Fig.6):

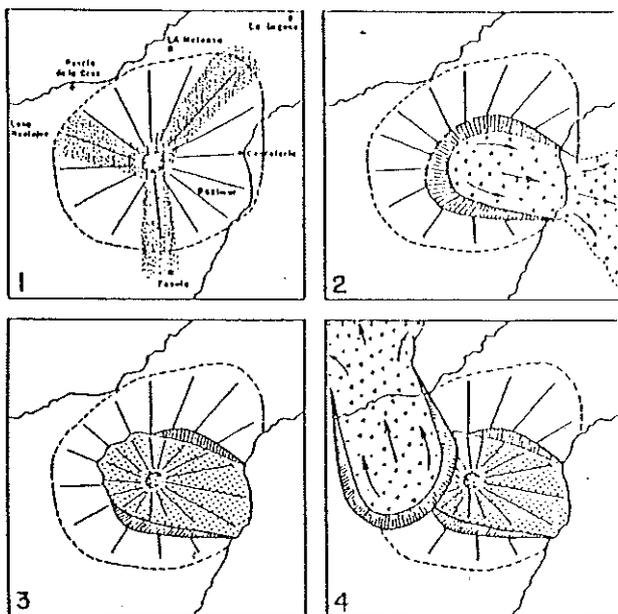


Fig.6 .- Secuencia de formación de los Valles de Güímar y la Orotava. En este último no se ha representado el relleno lávico (Según Navarro y Farrujia, 1988).

1) Se reanuda la actividad volcánica después del largo periodo erosivo que desmanteló parcialmente la Serie I. La emisión de la Serie Basáltica II, aunque tiene lugar en toda la Isla, está focalizada, sobre todo, en un sector de la Dorsal NW, en donde se construye un edificio cónico de grandes dimensiones, al que denominamos estratovolcán Arafo.

2) El excesivo crecimiento en altura de este estratovolcán genera un desequilibrio en el campo local de esfuerzos, que se traduce en un gran deslizamiento en masa de duración muy corta, casi instantánea. Se forma de este modo la depresión gravitacional de Güímar, cuyo fondo es ocupado en parte por

los materiales fragmentarios resultantes del desmoronamiento y trituración de la masa deslizada; este material fragmentario es el mortalón descrito en el párrafo anterior.

3) La decompresión inducida por el desalojo de la masa deslizada, determina la generación y ascenso de grandes volúmenes de magma, los cuales son canalizados por el mismo conducto central preferente que alimentó en la fase anterior al estratovolcán Arafo. De este modo se construye en poco tiempo el estratovolcán Cho Marcial cuyas lavas inundan gran parte de la depresión. En la zona de cabecera del valle, es decir, cerca del centro o centros de emisión, la acumulación de lavas y piroclastos es mayor y alcanza o sobrepasa las paredes del anfiteatro, igualándose el relieve del sector de cumbres de la Dorsal.

4) Largo tiempo después, cuando ya se está emitiendo la Serie III, una nueva inestabilidad gravitacional determina el deslizamiento que crea el valle de La Orotava, el cual decapita la cabecera de la depresión de Güímar y parte del estratovolcán Cho Marcial. Como en el caso de la depresión de Güímar, la decompresión súbita da lugar inmediatamente a una fase de intenso volcánismo en la que se emite un gran volumen de lavas. Las emisiones, sin embargo, no se verifican en un área localizada sino que están dispersas en toda la cabecera (ámbito del eje estructural), y en lugar de un sólo estratovolcán hay un extenso campo de conos de escorias, imbricados y superpuestos.

UNA DEPRESION CONTROVERTIDA: LAS CAÑADAS

La continuidad morfológica de la pirámide insular queda truncada en la región central de cumbres por la gran depresión de Las Cañadas (Fig.4), confinada en su mitad meridional por una escarpada pared en forma de anfiteatro semielíptico de 15 km de anchura máxima, cuyas paredes llegan a alcanzar 700 m de desnivel. En la porción septentrional se levantan dos grandes estratovolcanes, Teide y Pico Viejo, cuya altura supera ampliamente la del anfiteatro (Fig.7).

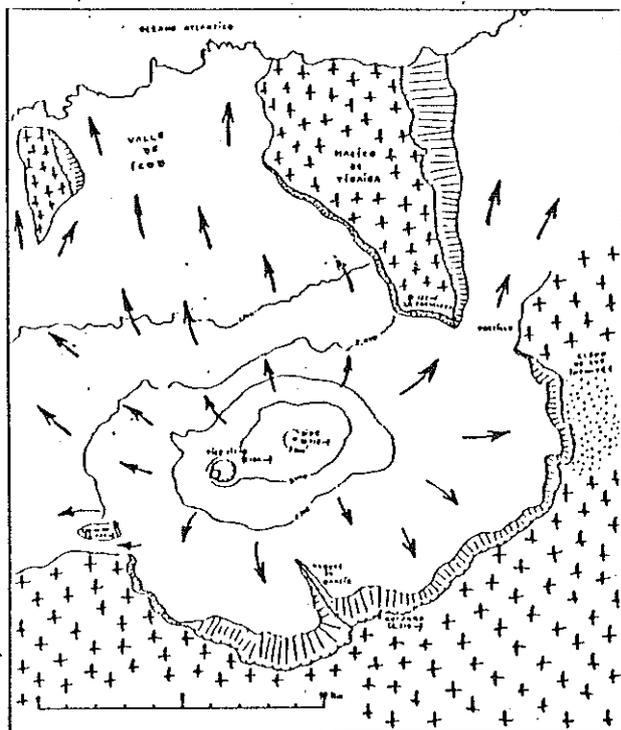


Fig.7 .- Anfiteatro de Las Cañadas, relleno de lavas jóvenes de los estratovolcanes Teide y Pico Viejo. Las flechas indican la dirección de flujo de las lavas. Los materiales que preceden la formación de la depresión están representados con cruces.

La pared está excavada en un grueso paquete de materiales de naturaleza sálica e intermedia (fonolitas y traquibasaltos) que han sido denominados Serie Cañadas. Aunque en proporción volumétrica predominan las lavas, son frecuentes las intercalaciones de niveles piroclásticos pumíticos, y el conjunto está cortado en las partes inferior y media del escarpe por una densa red de diques y pitones fonolíticos que representan el múltiple sistema de alimentación de la Serie. En el anfiteatro está expuesta, en síntesis, la sección vertical de un gran edificio evolucionado de carácter central (Fig.8), construido en un dilatado periodo de tiempo (más de 1 m.a.), y cuya porción somital, donde se agrupaban numerosos centros de emisión, desapareció al formarse la depresión. Salvo en un área muy localizada (Llano de los Infantes, Fig.7) no existe ninguna formación piroclástica voluminosa que corone la pared o que ocupe la periferia inmediata del anfiteatro. Más lejos, sin embargo, en la plataforma costera situada a sotavento de Las Cañadas, existe una extensa formación de piroclastos fonolíticos, integrada por numerosas capas de fall, flow, surge, etc (Fig.8).

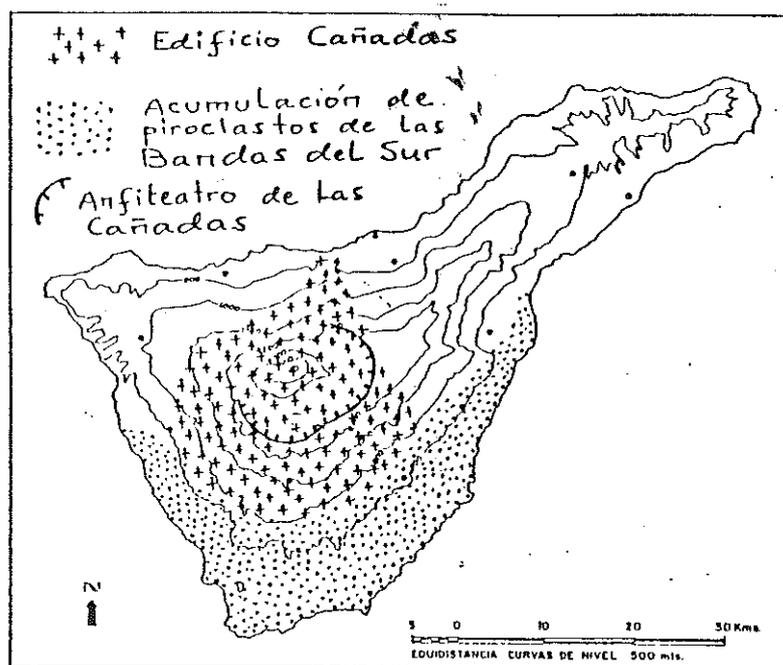


Fig. 8.- Anfitriato de Las Cañadas en relación al Edificio Cañadas y a la acumulación de piroclastos de las Bandas del Sur.

La porción interna del anfiteatro está ocupada en su totalidad por lavas y piroclastos que conservan prácticamente intactas sus características morfológicas. Una parte de ellos conforma dos estratovolcanes traquibasálticos (Teide y Pico Viejo), y el resto procede de centros adventicios predominantemente fonolíticos, aunque no faltan los de otras composiciones. Estas lavas recientes desbordan en algunos puntos la pared del anfiteatro, pero sobre todo descienden hacia el mar por el Norte, ocupando el Valle de Icod.

El gran volumen del material de relleno enmascara la forma real de la depresión bajo las lavas jóvenes. En la porción oriental, el anfiteatro se continúa mediante la pared del Macizo de Tigaiga (Fig.7), la cual conforma uno de los límites del valle de Icod. En la porción occidental, en cambio, el relleno interrumpe por completo la pared. En consecuencia, y sobre la única base de la morfología superficial son posibles dos hipótesis:

- El anfiteatro completa la elipse al norte del Teide-Pico Viejo, dando lugar a una depresión cerrada (simple o doble, Fig.9).
- El anfiteatro enlaza al W con el acantilado de Icod, de forma que Las Cañadas es una cubeta abierta hacia el mar, como los valles de Gúimar y La Orotava (Fig.9).

Como veremos esta disyuntiva morfológica repercute directamente en la cuestión de cómo se han formado Las Cañadas.

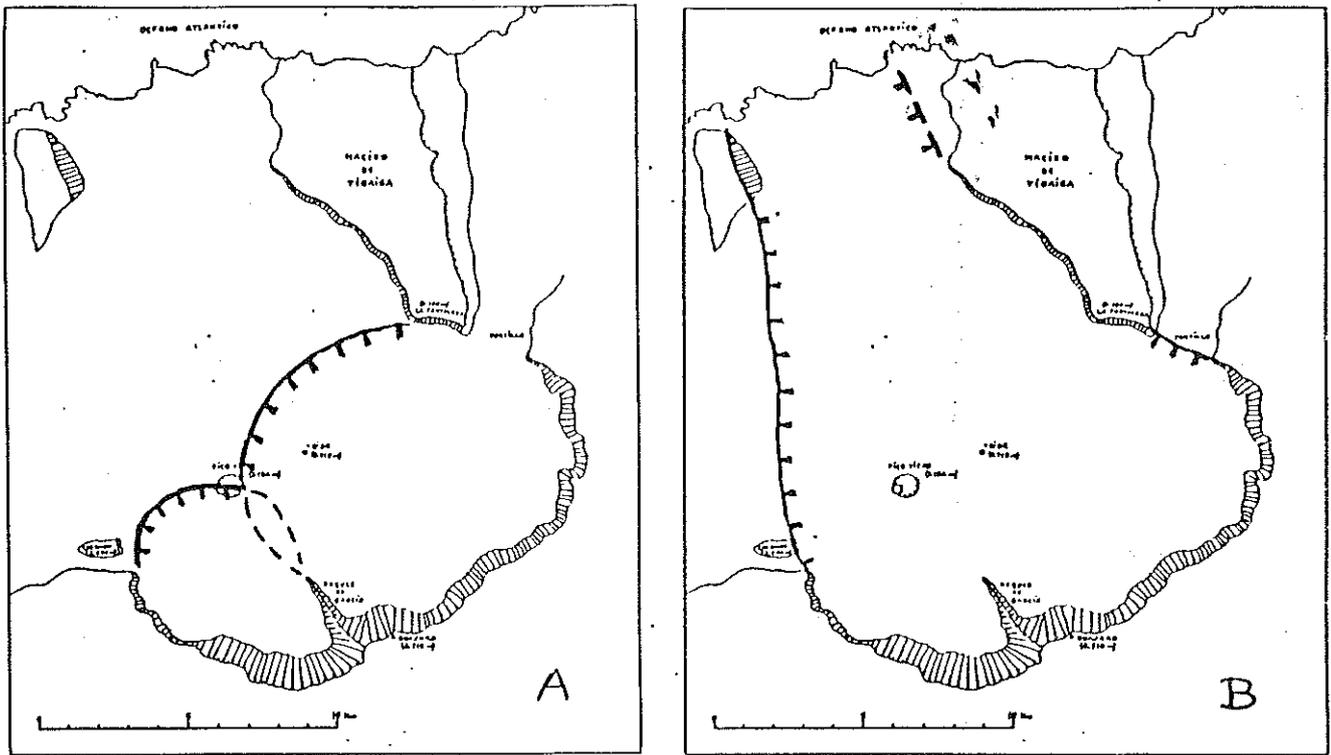


Fig.9 .- Depresión cerrada (A) versus depresión abierta (B); el esquema A está basado en Araña (1971).

EL PROBLEMA DEL ORIGEN

Por lo espectacular de la morfología y por sus grandes dimensiones en relación a la extensión de la Isla, la depresión de Las Cañadas ha entrado en la literatura geológica desde antiguo. El primer naturalista que la visitó fué Cordier en 1783, seguido de Humboldt (1799), que la compara a la Somma vesubiana, y de von Buch (1815), que vio en ella la confirmación de su hipótesis sobre los "cráteres de levantamiento". Desde entonces son decenas los volcanólogos que, de una u otra forma, se han referido a ella y han expresado una opinión sobre la forma en que se ha generado. Estas opiniones, lejos de ser uniformes, abarcan todos los mecanismos conocidos, como puede apreciarse en una revisión de los autores más característicos de los últimos tres decenios:

- Hausen (1956 y 1961) imagina grandes explosiones, representadas por los piroclastos de las Bandas del Sur, seguidas inmediatamente de hundimiento; es el mecanismo característico de caldera de colapso, tal como lo conocemos en la actualidad.

- Bravo (1962), apoyándose en la investigación de las galerías que perforan el subsuelo, piensa que las Cañadas es una depresión abierta hacia el mar a través de un gran valle, el de Icod, relleno en su mayor parte por lavas recientes del Complejo Teide-Pico Viejo, las cuales también se apoyan en mortalón, como en el caso de La Orotava y Güímar. Al contrario que en estos últimos valles -y por similitud morfológica con la Caldera de Taburiente (La Palma), en la que el colapso puede ser excluido categóricamente- se inclina por un origen erosivo, favorecido por la presencia en profundidad de mortalón, fácilmente removible.

- MacFarlane y Ridley (1968) realizan un mapa gravimétrico general de la Isla y encuentran un "valle" (también el de Icod, como en la hipótesis de Bravo) que conecta el anfiteatro con el mar; sobre esta base, postulan un origen por deslizamiento. Sin embargo, uno de ellos (Ridley, 1971) cambia de parecer y pasa a opinar que se trata de una caldera de tipo "trap-door", al igual que había propuesto para los valles de La Orotava y Güímar.

- Araña (1971), en su tesis doctoral, analiza críticamente los mecanismos clásicos (explosiones seguidas de colapso, erosión, deslizamiento) e introduce uno nuevo: "colapso de una gran parte del edificio como reacción al esfuerzo doméstico que se desarrolló en los episodios sálicos, tanto en sus emisiones lávicas como en la eyección de piroclastos juveniles". Aunque en este trabajo el autor rechaza expresamente que el colapso sea debido al vaciado de una cámara magmática somera, pues en el borde y laderas externas del anfiteatro no aparecen los piroclastos que resultarían de tal erupción explosiva, más adelante (Araña y Carrace-

do, 19) se inclina por este último mecanismo y, al igual que Hausen, sitúa en las Bandas del Sur los productos resultantes de tal erupción explosiva.

-Coello (1973) actualiza los datos de las galerías en el Valle de Icod y confirma y amplía los hallazgos de Bravo (1962): Las Cañadas se habrían formado por erosión acompañada de deslizamientos.

- Booth (1973), que estudió en detalle algunas de las unidades eruptivas de las Bandas del Sur, postula un colapso realizado en varias fases, como respuesta al progresivo vaciado de una cámara magmática por una serie de grandes erupciones plinianas cuyos productos se habrían acumulado en las mencionadas Bandas.

El mecanismo invocado con más frecuencia es el de colapso o subsidencia, y en los últimos años ha pasado a convertirse en un dogma difundido a través de todos los textos escolares o impuesto como premisa en cualquier publicación científica relacionada con Las Cañadas (por ejemplo, Martí et al., 1988).

A priori, la hipótesis de colapso encaja bien en el contexto volcanológico en que se encuentra la depresión -un edificio preexistente integrado por materiales diferenciados-, e incluso sería la primera a formular ante un accidente topográfico como el anfiteatro.

Los argumentos de base son dos: 1) los piroclastos de las Bandas del Sur son la resultante del vaciado paroxísmico de una cámara magmática de grandes dimensiones, y 2) la pared semielíptica del anfiteatro se continúa bajo los estratovolcanes Teide y Pico Viejo, de modo que, en profundidad, Las Cañadas es una depresión cerrada. A continuación son examinados ambos argumentos con algún detalle.

Acumulaciones piroclásticas en el ámbito de Las Cañadas

Una erupción que concluye con la formación de una caldera de grandes dimensiones, arroja decenas de kilómetros cúbicos de magma en forma altamente explosiva y en tiempos muy cortos (días o semanas). Los productos piroclásticos resultantes, bien conocidos y descritos en todas las áreas volcánicas del mundo, son extraordinariamente voluminosos y extensos, tienen unas características peculiares (ignimbritas, lag-breccias, etc.) y, sobre todo, dan lugar a acumulaciones muy potentes en el entorno inmediato del anillo caldérico. En todos los casos descritos en la abundante literatura que existe sobre este tema, el volumen colapsado es igual al volumen de piroclastos evacuado, aunque estos últimos, por ser mucho más porosos que el fundido, ocupan un espacio 3 o 4 veces superior a aquel.

En el caso de Las Cañadas, que es una depresión doble

separada por los Roques de García (Fig. 7 y 9) la caldera oriental tiene un diámetro aproximado de unos 10 km y una profundidad mínima de 1 km, lo que significa que, en caso de colapso, fueron evacuados 75 km³ de fundido, equivalentes por lo menos a 200 ó 300 km³ de piroclastos pumíticos. Sin embargo, el borde de Las Cañadas, que tiene amplias porciones topográficamente planas en la periferia inmediata, muestra una notable escasez de material piroclástico, y el poco que hay no responde, ni siquiera vagamente, a las bien conocidas características de un depósito caldera-forming como el mencionado anteriormente.

La única zona en que se encuentran piroclastos pumíticos está muy localizada espacialmente (Llano de Los Infantes, Fig.7) y, en realidad, corresponde al relleno de un antiguo valle que después fue decapitado al formarse la gran depresión. Estos depósitos -que están atravesados por diques basálticos que, a su vez, quedan cortados por la pared de la depresión, lo que evidencia claramente la edad con respecto a esta última- "demuestran la existencia de una importante actividad explosiva precaldera" (Martí el al., 1988). Por otra parte, se han podido datar (Martí y Mitjavila, 1989), con lo que estos autores atribuyen una edad máxima de 0.17 m.a. a la formación del sector occidental de la depresión.

Esta datación resuelve el problema del "cuándo" y complica el del "como", ya que, si el colapso se ha producido después de tal fecha, ¿como es posible que hayan desaparecido por erosión los productos caldera-forming, cuyo volumen debe ser necesariamente colosal, mientras han sido preservados otros similares más antiguos?.

Los únicos piroclastos de esta zona que no están cortados por los diques y que, por tanto, son el último episodio eruptivo, conforman una brecha extraordinariamente rica en líticos preexistentes de todas las composiciones; muchos de ellos están hidrotermalizados y no son escasos los clastos sieníticos. El único indicio de material juvenil reside en la presencia anormalmente alta de fenocristales frescos de sanidina en la matriz. Este depósito es relativamente extenso, ya que ha sido localizado también, y con mayor volumen, en todo el Macizo de Tigaiga, donde siempre está en la misma posición estratigráfica: el techo de la secuencia. Por constitución, volumen y extensión, esta brecha no puede ser un depósito caldera-forming, pero por su posición estratigráfica es evidente que, si alguna formación esta en relación con la génesis de Las Cañadas, es ésta.

LOS PIROCLASTOS DE LAS BANDAS DEL SUR

Es la más importante acumulación de piroclastos fonolíticos de la Isla, dispersa en una amplia franja de terreno en la costa meridional (Fig.8). Agrupa un elevadísimo número de capas o unidades de emplazamiento que pertenecen a todos los tipos conocidos: fall, flow, surge, lahares. Estos depósitos han sido estudiados en detalle por Booth (1973) y Alonso (1989).

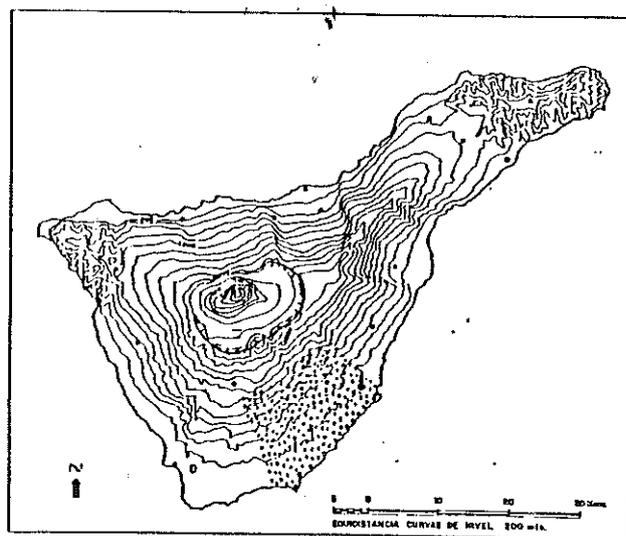
La acumulación dista de constituir un depósito único correspondiente a una gran erupción explosiva. Por el contrario, en el interior de la secuencia estratigráfica son muy frecuentes los paleosuelos, las discordancias erosivas e incluso las intercalaciones de lavas fonolíticas o basálticas, todo lo cual indica que el emplazamiento ha tenido lugar por agregación gradual de pequeñas unidades eruptivas a lo largo de un dilatado periodo de tiempo. Este hecho está confirmado por las dataciones absolutas, que señalan un lapso mínimo de 0.5 m.a., aunque probablemente el intervalo temporal que separa las unidades inferiores de las superiores sea mayor de 1 m.a.. La acumulación cesó hace 0.13 ± 0.3 (Ancochea et al., en preparación, Fig.10), fecha que coincide aproximadamente con la formación de Las Cañadas, como se deduce de Martí y Mitjavila (1989).

La presencia de paleosuelos y discordancias erosivas permite distinguir unidades eruptivas, cada una de las cuales corresponde a un evento explosivo singular. Gran parte de ellas son mantos de fall de escasa potencia y reducida dispersión lateral, pero en algunos casos se trata de unidades complejas y voluminosas. La más importante de estas últimas es la unidad Chimiche (Alonso, 1989), situada hacia la mitad de la secuencia y constituida por un depósito inicial de fall seguido de varios flujos piroclásticos; la distribución espacial del fall y los flows es coincidente (Fig.11), y su volumen equivalente de roca densa ha sido estimado por Alonso (1989) en 2.7 km^3 , muy inferior al que debería tener un depósito caldera-forming en la hipótesis de colapso.

En todos los estudios de isopacas realizados sobre depósitos de fall se obtiene que el área de procedencia está localizada en la actual zona de Las Cañadas. Este ha sido un factor esencial a la hora de relacionar los piroclastos con la depresión, pero hay que subrayar que esta última coincide espacialmente con la cumbre del anterior Edificio Cañadas, en donde se concentraron los centros de emisión fonolíticos, que no sólo emitieron lavas sino que también tuvieron una actividad explosiva notable (Martí et al., 1988).

En definitiva, tanto la presencia de numerosas unidades eruptivas de pequeño volumen (Tabla 1), emplazadas a lo largo de un dilatado periodo de tiempo, como los límites de edad impuestos por las dataciones absolutas, sugieren que las Bandas del Sur son el resultado acumulativo de las erupciones explosivas asociadas a la construcción del Edificio Cañadas, y que cesaron en el momento

Fig.11 .- Distribución espacial de la unidad Chimice (fall y flows) en relación al anfiteatro de Las Cañadas.



en que se formó la depresión. Algunas unidades relativamente voluminosas, como la de Chimiche, pudieron dar lugar a alguna pequeña caldera de, tal vez, 3-4 km de diámetro, pero en ningún caso pueden ser asociadas al actual hueco, que ha debido formarse por causas distintas al vaciado explosivo de una cámara magmática somera.

	Volumen estimado	Densidad	D.R.E. (2,6 gr/cm ³)
Ignimbrita de Arico	0,6 Km ³	1,83 gr/cm ³	0,4 Km ³
P. de caída de Chimiche	7,0 Km ³	0,76 gr/cm ³	2,0 Km ³
C. piroclástica de Chimiche	0,9 Km ³	1,96 gr/cm ³	0,7 Km ³
P. de caída Ondulados	0,06 Km ³	0,60 gr/cm ³	0,012 Km ³
P. de caída de Casas de la Luz	0,6 Km ³	0,60 gr/cm ³	0,13 Km ³
P. de caída de las Monjas	0,4 Km ³	0,80 gr/cm ³	0,13 Km ³
C. piroclástica de El Abrigo	1,0 Km ³	1,83 gr/cm ³	0,4 Km ³

TABLA I.- Volúmenes de los principales depósitos piroclásticos de las Bandas del Sur (según Alonso 1989).

CONFIGURACION DEL SUBSUELO

Los argumentos basados en la naturaleza y distribución de los productos piroclásticos cuestionan seriamente el modelo de colapso, pero esto no resuelve totalmente el problema, ya que la cuestión crucial es la forma real de la depresión bajo el Teide-Pico Viejo, que se reduce a dos posibilidades:

- 1) La pared del anfiteatro se continúa bajo los materiales de relleno, en cuyo caso se trata de una depresión cerrada, y su origen no podría ser otro que el colapso, independientemente del mecanismo desencadenante (Fig.9).
- 2) La pared se interrumpe en la porción septentrional, con lo que el anfiteatro y el valle de Icod formarían parte de una misma unidad morfológica, que sería en realidad una gran cubeta abierta hacia el mar, como los valles de La Orotava y Güímar, aunque más estrechos que éstos en la porción de salida (Fig.9). Una cubeta de tales características debería haberse formado por deslizamientos o erosión.

Para resolver esta disyuntiva, son dos las posibles vías de aproximación: una, basada en métodos geofísicos indirectos, y otra, fundada en la inspección directa del subsuelo. A continuación se analiza la información disponible por ambos métodos.

INFORMACION PROCEDENTE DE LA GEOFISICA

Aparte del estudio general de Tenerife de MacFarlane y Ridley (1968, Fig.12), en el que se interpretaban Las Cañadas como una depresión abierta hacia el mar, en los últimos años han sido llevados a cabo algunos trabajos orientados específicamente a determinar la estructura profunda del subsuelo en el área de Las Cañadas y a resolver el dilema depresión abierta/depresión cerrada.

El primero de ellos (Vieira et al., 1986) consistió en un estudio microgravimétrico. Aunque en él no se llegó a efectuar la corrección topográfica, fueron encontradas dos anomalías positivas, lo que, según los autores, demostraba que Las Cañadas era una doble caldera de colapso, cada una de las cuales coincidiría con un alto de gravedad. El mapa de anomalías de Bouger no incluía referencias topográficas, pero si en él se dibuja el contorno del anfiteatro, puede apreciarse que las anomalías no coinciden con la depresión sino con la pared, lo que tiene un significado doble: 1) los altos gravimétricos evidencian características propias del edificio preexistente, y 2) en la depresión hay un defecto de gravedad antes que un exceso. En cualquier caso, no se efectuaron medidas en la porción septentrional, que es la zona en que se discute si la pared se cierra o no.

Simultáneamente se aplicó el método magnetotelúrico (Astiz y

Fig.12 .- Mapa general de anomalías gravimétricas, según MacFarlane y Ridley (1968).

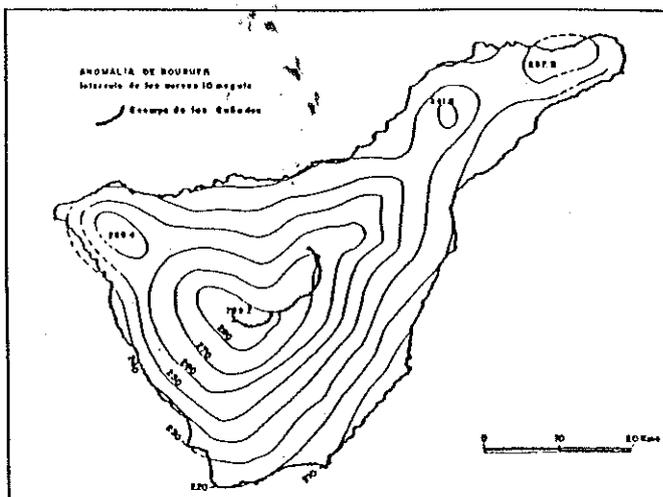


Fig.13 .- Localización de los sondeos MT en relación al anfiteatro de Las Cañadas.

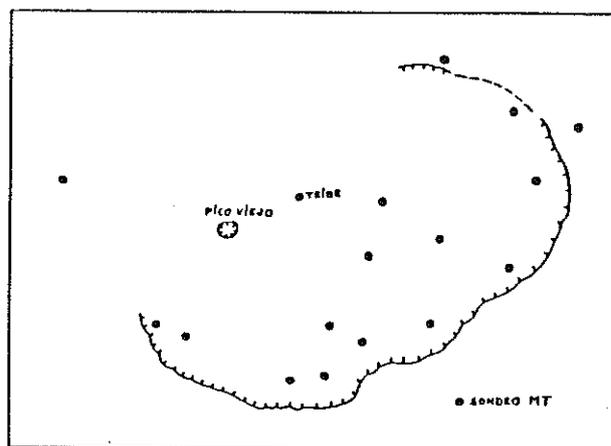
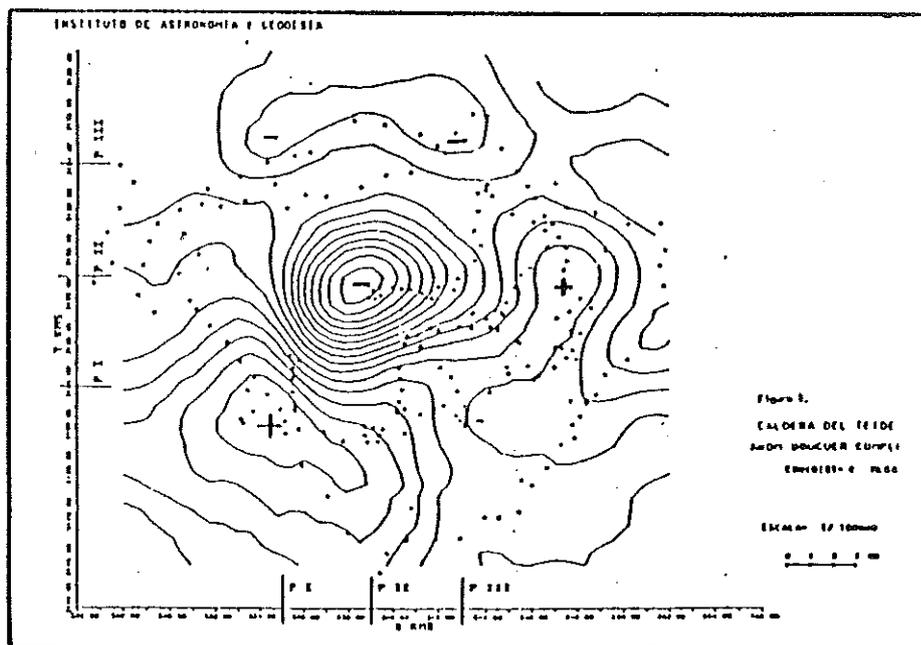


Fig. 14 .- Mapa de anomalías de gravedad en el área de Las Cañadas (según Camacho et. al., 1988)



Valentín, 1986), que sirve para detectar fuertes contrastes de conductividad. Dejando aparte los resultados obtenidos en la definición del contacto corteza-manto, no cuestionados aquí, hay una conclusión sorprendente: "mediante los sondeos MT, se ha puesto de manifiesto la existencia de una doble depresión tectovolcánica, cubierta por el típico material de relleno de la Caldera de colapso". Ignoramos cómo consigue el método MT discriminar entre depresiones tectovolcánicas y depresiones de erosión, por ejemplo, o cómo averigua que el relleno es típico de caldera de colapso, pero, ciertamente, con la información recogida es imposible determinar si Las Cañadas es una depresión abierta o cerrada, ya que los sondeos se llevaron a cabo exclusivamente en la porción meridional (Fig.13) y no en la controvertida zona Norte, en donde las lavas jóvenes ocultan la hipotética continuación del anfiteatro.

El último trabajo aparecido (Camacho et al. 1988), es un estudio microgravimétrico elaborado en parte con los datos de la primera referencia mencionada, pero que ya incluye corrección topográfica. No hay en él conclusiones explícitas sobre el problema central debatido (depresión abierta o depresión cerrada), pero el mapa de anomalías de Bouguer (Fig.14) refleja bien la pared del anfiteatro, así como una interrupción de ésta en la parte cubierta por el Complejo Teide-Pico Viejo, de modo que los resultados parecen encajar mejor en la hipótesis de depresión abierta.

INFORMACION PROCEDENTE DE LA INSPECCION DIRECTA DEL SUBSUELO

Tanto el ámbito de Las Cañadas como el Valle de Icod se encuentran perforados por numerosas galerías (Fig.16), que en general superan los 4 km de longitud y en algunos casos los 5 km. Todas estas galerías son accesibles y permiten la observación directa del subsuelo.

Borde occidental

Un grupo que en la actualidad progresa rápidamente es el situado en el borde occidental del anfiteatro. Las perforaciones proceden de la porción periférica y avanzan hacia el interior de la depresión, donde, a cierta distancia del borde, pasan de los terrenos impermeables del Edificio Cañadas a las lavas porosas del Complejo Teide-Pico Viejo, que conforman el acuífero. Como las galerías están excavadas a distintas cotas, es posible reconstruir la geometría del contacto entre los materiales de depresión y los de relleno: en todos los casos, el talud de la pared de Las Cañadas visible en superficie se prolonga en el subsuelo sin discontinuidades.

Del mayor interés es la galería "Rio Bermejo" (Bravo y Bravo, 1988, nº1), que yendo a una cota de 1375 m, es decir, más de 700 m por debajo de la superficie topográfica, se ha adelanta-

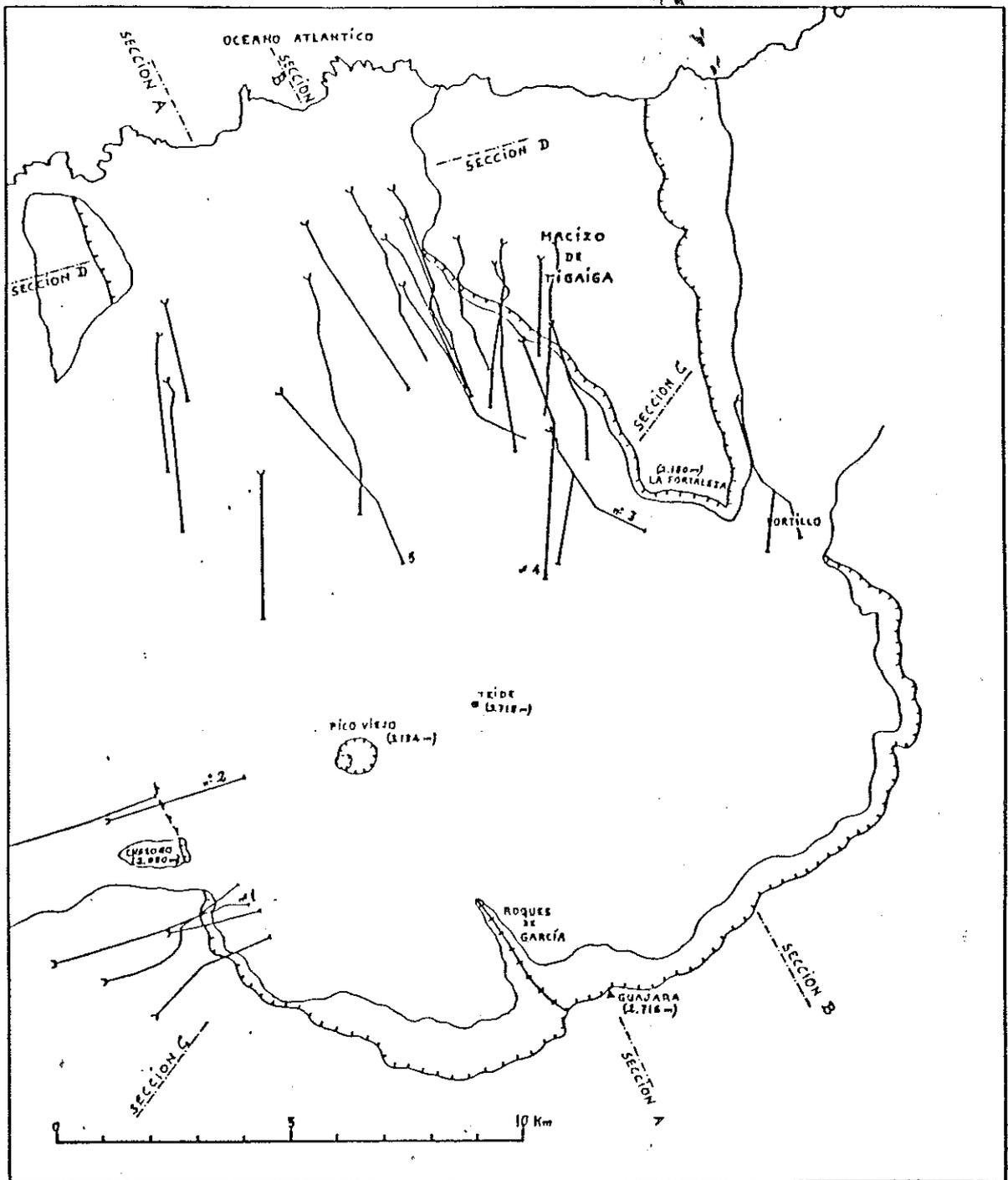


Fig.15 .- Galerías más importantes del área de Las Cañadas y del Valle de Icod.

do 1.5 km aproximadamente en el interior de Las Cañadas sin salir de los materiales pre-depresión. Esto significa que el espacio comprendido entre el frente de esta galería y los Roques de García se reduce tanto que hace falta mucho voluntarismo para inscribir en él una caldera de colapso.

Por otra parte, la galería más septentrional (Río de Guía, nº2) encuentra en el subsuelo la continuación del anfiteatro, que, en lugar de arquearse hacia el E para cerrar la depresión, mantiene la tendencia a dirigirse hacia el Norte, lo que apoya la idea de que la pared de Las Cañadas enlaza en el subsuelo con el acantilado de Icod.

Borde Nororiental

Son varias las galerías que, procedentes del valle de Icod, se adentran en la zona más controvertida: la supuesta continuación de la pared.

La más alta de ellas (Vergara, cota 1500, nº3) es la única que encuentra materiales distintos a los de relleno, ya que, en el lugar señalado en la Fig.15, a 600 m de profundidad bajo la superficie topográfica, atraviesa un espolon de fonolitas de la Serie Cañadas, lo que aleja considerablemente del borde del anfiteatro el límite de la supuesta caldera de colapso.

Más significativa todavía es Lomo Colorado (cota 1150, nº4) que, con una longitud total de 5 km, penetra 1.5 km dentro de la hipotética continuación del anfiteatro; aun cuando la cota de la traza es inferior en 1000 m al punto más próximo de la pared (La Fortaleza, 1140 m), que sólo dista 2 km, no son intersectados en ningún momento materiales del basamento pre-depresión. Otra galería más baja todavía (Saltadero de Las Cañadas, cota 975, 4515 m de longitud, nº5) ha llegado al mismo límite teórico sin encontrar otros terrenos que los jóvenes.

En definitiva, las evidencias suministradas por la observación directa del subsuelo demuestran incontestablemente que el anfiteatro carece de continuidad en la porción septentrional (entre La Fortaleza y Chasogo), con lo que Las Cañadas es una depresión abierta hacia el mar por el Valle de Icod, que en realidad es mucho más profundo de lo que la topografía de superficie permite imaginar. Bravo (1962) tenía razón.

LA SECUENCIA ESTRATIGRAFICA EN EL VALLE DE ICOD

La secuencia que rellena el Valle de Icod, procedente de centros de emisión situados en el ámbito del anfiteatro, es bien conocida por las observaciones de superficie y, sobre todo, por las galerías excavadas en el valle entre las cotas de 300 y 1500 m. Las perforaciones de la franja oriental cortan la totalidad del relleno lávico y, tal como ha sido descrito por Bravo (1962)

y Coello (1973), encuentran debajo una brecha caótica muy potente (mortalón); en esta parte lateral, el espesor de la secuencia lávica oscila en torno a 500 m (ver corte B, Fig.16). Más hacia el centro del valle, en su eje longitudinal, hay dos galerías muy profundas (Miradero de Santa Bárbara, 5400 m; Saltadero de Las Cañadas, 4500 m) que, con monteras de más de 900 m, no han alcanzado todavía el mortalón, lo que revela una extraordinaria potencia de lavas jóvenes.

Las formaciones recientes atravesadas por las perforaciones tienen rasgos distintivos bien marcados y pueden ser correlacionadas sin problemas de un punto a otro. La secuencia global comprende las siguientes unidades, de base a techo:

- Mortalón

1) Basaltos Iniciales

2) Traquibasaltos del Teide-Pico Viejo

3) Fonolitas (o traquitas) superiores

Basaltos Iniciales

La actividad volcánica que sigue inmediatamente a la formación de la depresión comienza con algunas lavas traquibasálticas, pero pronto dan paso a un potente y monótono apilamiento de lavas muy básicas (entr 42 y 45 % de SiO_2 , Navarro y Badiola, en preparación) que en superficie sólo es parcialmente visible en algunos acantilados costeros. Su potencia supera los 500 m en el Valle de Icod, pero sin duda es mucho mayor en el anfiteatro de Las Cañadas por encontrarse allí su centro o centros de emisión.

Esta unidad basal está formada por decenas de lavas individuales de tipos aa y pahoehoe, sin intercalaciones de paleosuelos o de niveles sedimentarios, lo mismo que sucede en el relleno de los valles de Güímar y La Orotava.

Este periodo de intensa actividad basáltica en el centro de la Isla es sorprendente por cuanto se desvía del comportamiento lógico. En efecto, durante varios cientos de miles de años, la actividad en la región central de cumbres estuvo presidida por la emisión de magmas esencialmente fonolíticos, y de repente, pero en coincidencia con la apertura de la depresión, se produce un cambio radical tanto en la composición de los productos como en la intensidad del volcanismo. Este hecho no puede ser ignorado al abordar el problema del origen de Las Cañadas.

Traquibasaltos del Teide-Pico Viejo

La unidad anterior da paso gradualmente a materiales más evolucionados desde el punto de vista geoquímico, que forman un

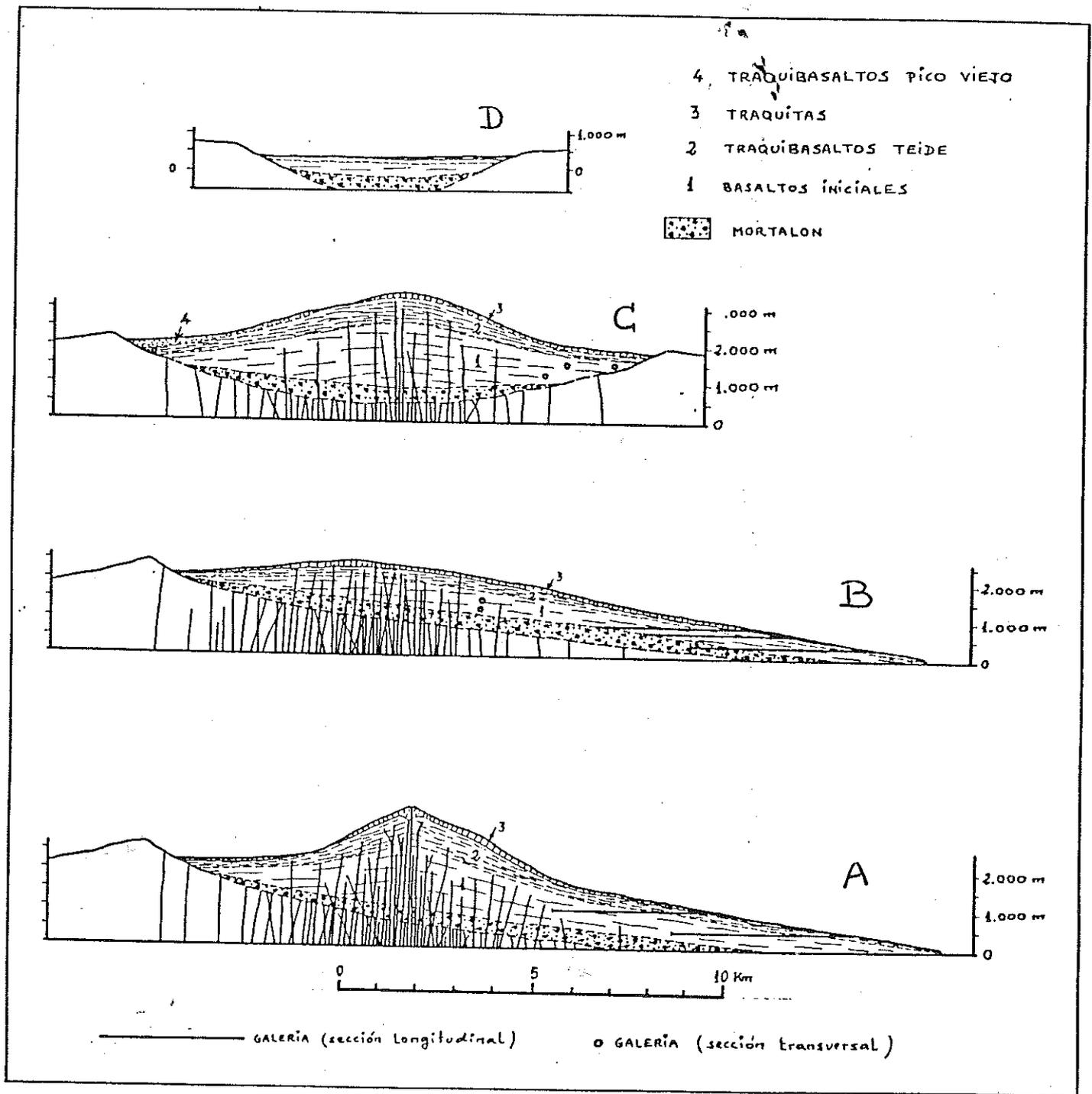


Fig.16 .- Cortes geológicos de Las Cañadas y el valle de Icod. La posición se encuentra señalada en la Fig.15.

paquete de lavas traquibasálticas entre las que se intercalan almogres y depósitos sedimentarios, lo que parece corresponder a una ralentización progresiva de la actividad.

Esta unidad sólo alcanza un espesor de unos 100 m en la parte media del valle, pero se va engrosando hacia la cabecera y, finalmente, pasa a conformar los estratovolcanes Teide Antiguo y Pico Viejo, así como un cierto número de pequeños aparatos laterales.

Fonolitas Superiores

La actividad más reciente o actual del Complejo Teide-Pico Viejo tiene carácter fonolítico y ha dado lugar a lavas muy viscosas. Las coladas parten de centros de emisión que, aunque dispersos, tienden a situarse en la periferia de los grandes estratovolcanes.

CONCLUSIONES

Los datos más significativos de que disponemos para interpretar el origen de Las Cañadas son los siguientes:

- La investigación directa del subsuelo demuestran que Las Cañadas es una cubeta abierta hacia el mar a través del Valle de Icod.
- La formación de la depresión no coincide con ninguna erupción fonolítica que haya arrojado grandes volúmenes de piroclastos pumíticos, sino con una brecha extraordinariamente rica en líticos hidrotermalizados y pobre en material juvenil.
- El relleno de la depresión muestra unas características anómalas para el contexto en que se encuentra (edificio preexistente muy evolucionado) y, al mismo tiempo, tiene grandes similitudes con la sucesión presente en depresiones análogas (Güímar y La Orotava): una brecha caótica (mortalón) en la base, seguida inmediatamente por materiales muy básicos emitidos en un periodo de volcanismo intenso.

Tales datos encajan mejor en la hipótesis de deslizamiento gravitacional y, aunque de forma provisional, pues se están desarrollando más investigaciones, puede aventurarse la siguiente sucesión de eventos:

- 1) Excesivo crecimiento en altura del Edificio Cañadas, que pasa a ser inestable.
- 2) La actividad sísmica asociada, tal vez, a la intrusión de magma fonolítico procedente de una pequeña cámara magmática somera, induce un gran deslizamiento en masa que decapita la porción de cumbres.
- 3) La decompresión súbita desencadena un proceso explosivo doble, pero simultáneo. Por una parte se produce la vaporización instantánea de un reservorio geotérmico, y por otra entra en erupción magma procedente de una pequeña cámara cuyo techo se encontraría a poca profundidad bajo la nueva superficie creada por el deslizamiento. El resultado de este proceso sería la brecha rica en líticos del borde de la pared oriental y del Macizo de Tigaiga.
- 4) En las paredes casi verticales de la cabecera se producen deslizamientos secundarios que amplían esta última hasta convertirla en el anfiteatro actual. El mortalón sería el resultado de estas avalanchas, así como del deslizamiento principal.
- 5) La disminución de carga litostática se traduce en un periodo de intenso volcanismo. Al principio es emitido el

fundido que ya estaba previamente en fase de ascenso y diferenciación, dando lugar a los traquibasaltos de la parte más baja de la secuencia lávica de relleno. A continuación, el magma que llega a la superficie es ya el generado en la nueva situación, que asciende de forma muy rápida y no tiene tiempo de diferenciarse, emitiéndose un gran volumen de basanitas.

- 6) El progresivo aumento del relleno va restableciendo gradualmente el equilibrio litostático; el fundido asciende más lentamente y puede diferenciarse en parte (traquibasaltos).
- 7) Finalmente, se instalan de nuevo cámaras magmáticas someras, que dan lugar a las fonolitas actuales.

BIBLIOGRAFIA

- Alonso, J.J. "Estudio volcanoestratigráfico y volcanológico de los piroclastos sálicos del Sur de Tenerife". Univ. de La Laguna. 1989.
- Araña, V. "Litología y estructura del Edificio Cañadas, Tenerife (Islas Canarias)". Est. Geol., 95-135. 1971.
- Araña, V., Carracedo, J.C."
- Astiz, M., Valentín, A. "Estudio MT del Teide y Caldera de Las Cañadas (Tenerife)". Anales de Física, Serie B, número especial, 44-53. 1986.
- Booth, B. "The Granadilla pumice flow deposit of southern Tenerife, Canary Islands". Proc. Geol. Assoc., 84, 353-369. 1973.
- Bravo, T. "El circo de Las Cañadas y sus dependencias". Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat., 60, 93-135. 1971.
- Bravo, T., Bravo, J. "Límites de la caldera de Las Cañadas del Teide. Tenerife. I. Canarias". Congr. Geol. España, 2, 111-114. 1988.
- Camacho, A.G., Vieira, R., Araña, V. "Modelo estructural de densidades de la Caldera del Teide obtenido a partir de observaciones gravimétricas". Inst. Astronomía y Geodesia, Madrid, publicación 162. 1988.
- Coello, J. "Las series volcánicas en los subsuelos de tenerife". Est. Geol., 29, 491-512. 1973.
- Hausen, H. "Contributions to the geology of Tenerife". Soc. Sci. Fenmíca, Com. Phys.-Math., 18-1, 247 p. 1956.
- Hausen, H. "Canarian calderas. A short review based on personal impressions". Bull. Com. Geol. Finland, 196, 179-213. 1961.
- MacFarlane, D.I., Ridley, W.I. "An interpretation of gravity data for Tenerife, Canary Islands". Earth Planet. Sci. Lett., 4, 481-486. 1968.
- Martí, J., Mitjavila, J., Araña, V. "Estratigrafía de los materiales piroclásticos de la Cañada de Diego Hernandez (Tenerife)". Simp. sobre Volc., SGE, 367-376. 1988.

- Martí, J., Mitjavila, J. "Stratigraphy and K-Ar ages of the Cañada de Diego Hernandez and their significance on the Cañadas caldera (Tenerife, Canary Islands) formation". Ann. Geophys., 57. 1989.
- Navarro, J.M. "La estructura de Tenerife y su influencia en la hidrogeología". Simp. Intern. Hidrol. Terrenos Volc. Lanzarote. 1974.
- Navarro, J.M., Farrujia, I. "Zonificación Hidrogeológica de Tenerife. Aspectos geológicos e hidrogeológicos". Plan Hidrológico Insular, Cabildo de Tenerife. 145 p. 1989.
- Ridley, W.I. "The origin of some collapse structures in the Canary Islands". Geol. Mag., 108, 477-484. 1971.
- Vieira, R., Toro, C., Araña, V. "Microgravimetric survey in the Caldera of Teide, Tenerife, Canary Islands". Tectonophysics, 130, 249-257. 1986.