

MEMORIAS
DE LA
REAL ACADEMIA DE CIENCIAS
EXACTAS, FÍSICAS Y NATURALES
DE
M A D R I D

SERIE DE CIENCIAS NATURALES

TOMO XXVII

LA SERIE I DE LA ISLA DE FUERTEVENTURA

POR

E.Ancochea, J.L. Brändle, C.R. Cubas, F. Hernán y M.J. Huertas



MADRID

DOMICILIO DE LA ACADEMIA

VÁLVERDE, 22 - TELÉFONO 521 25 29

1993

MEMORIAS
DE LA
REAL ACADEMIA DE CIENCIAS
EXACTAS, FÍSICAS Y NATURALES
DE
M A D R I D

SERIE DE CIENCIAS NATURALES
TOMO XXVII

MEMORIAS
DE LA
REAL ACADEMIA DE CIENCIAS
EXACTAS, FÍSICAS Y NATURALES

DE
M A D R I D

SERIE DE CIENCIAS NATURALES

TOMO XXVII

LA SERIE I DE LA ISLA DE FUERTEVENTURA

POR

E.Ancochea, J.L. Brändle, C.R. Cubas, F. Hernán y M.J. Huertas



MADRID

DOMICILIO DE LA ACADEMIA

VALVERDE, 22 - TELÉFONO 521 25 29

1 9 9 3

**ES PROPIEDAD DE LA REAL ACADEMIA DE CIENCIAS
EXACTAS, FÍSICAS Y NATURALES DE MADRID**

I. S. B. N.: 84 - 87125 - 24 - 7

Déposito Legal: M. 37.220 - 1993

REALIGRAF, S. A. - Burgos, 12 - Tel. 311 14 92 - 28039 Madrid

ÍNDICE

	<u>Página</u>
1.- INTRODUCCIÓN	6
2.- LOS EDIFICIOS DE LA SERIE I	11
2.1.- EDIFICIOS Y SERIES	12
2.2.- EDIFICIO NORTE: DEFINICIÓN Y CARACTERÍSTICAS	15
2.2.1.- VOLCANOESTRATIGRAFÍA	15
2.2.1.1. - Edificio Norte Inferior	16
2.2.1.2. - Traquitas de Tindaya y Tebeto	19
2.2.1.3. - Formación Ampuyenta (Serie I Intermedia)	19
2.2.1.4. - Edificio Norte Superior	21
2.2.2.- ESTRUCTURA	22
2.2.3.- CRITERIOS MORFOLÓGICOS PARA LA RECONSTRUCCIÓN DEL EDIFICIO	24
2.2.4.- LOS SISTEMAS FILONIANOS	26
2.2.4.1. - El enjambre de diques del Edificio Norte Superior	31
2.2.4.2. - Los diques del Edificio Norte Inferior	31
2.2.5.- BATIMETRÍA	33
2.2.6.- DIMENSIONES	35
2.3.- EDIFICIO CENTRAL: DEFINICIÓN Y CARACTERÍSTICAS	38
2.3.1.- VOLCANOESTRATIGRAFÍA	41
2.3.1.1. - Edificio Central Inferior	41
2.3.1.2. - Edificio Central Intermedio	42
2.3.1.3. - Edificio Central Superior	43
2.3.1.4. - Traquitas	43
2.3.1.5. - Formaciones Locales	44
2.3.2.- ESTRUCTURA	46
2.3.3.- CRITERIOS MORFOLÓGICOS PARA LA RECONSTRUCCIÓN DEL EDIFICIO	46
2.3.4.- LOS SISTEMAS FILONIANOS	48
2.3.5.- BATIMETRÍA	50
2.3.6.-DIMENSIONES	50

2.4.- EDIFICIO SUR O EDIFICIO JANDÍA: DEFINICIÓN Y CARACTERÍSTICAS	52
2.4.1.- VOLCANOESTRATIGRAFÍA	52
2.4.1.1.- Edificio Sur Inferior	53
2.4.1.2.- Edificio Sur Intermedio	54
2.4.1.3.- Edificio Sur Superior	56
2.4.1.4.- Formación La Angostura	56
2.4.2.- ESTRUCTURA	57
2.4.3.- CRITERIOS MORFOLÓGICOS PARA LA RECONSTRUCCIÓN DEL EDIFICIO	59
2.4.4.- LOS SISTEMAS FILONIANOS	60
2.4.4.1.- El enjambre de diques de los Edificios Sur Intermedio y Superior	60
2.4.4.2.- Los diques del Edificio Sur Inferior	61
2.4.5.- BATIMETRÍA	62
2.4.6.- DIMENSIONES	63
2.5.- EDAD DE LA SERIE I	64
2.5.1.- EDAD RELATIVA DE LOS EDIFICIOS	64
2.5.1.1.- Relaciones Edificio Norte - Edificio Central	64
2.5.1.2.- Relaciones Edificio Central - Edificio Sur	65
2.5.2.- EDADES RADIOMÉTRICAS	65
2.5.2.1.- Edad del Edificio Sur	66
2.5.2.2.- Edad del Edificio Central	70
2.5.2.3.- Edad del Edificio Norte	72
2.5.3.- EMIGRACIÓN DE LA ACTIVIDAD	74
2.6.- EVOLUCIÓN DE LA ACTIVIDAD VOLCÁNICA EN LA SERIE I	75
2.6.1.- EL ENTORNO SUBMARINO DE LA ISLA DE FUERTEVENTURA	75
2.6.1.1.- Los depósitos de origen volcánico del sondeo 397 del DSDP	78
2.6.2.- DIMENSIONES, VOLÚMENES Y ESPACIADO DE LOS EDIFICIOS	79
2.6.3.- FRACTURACIÓN Y FASES TECTÓNICAS	81
2.6.4.- LINEACIONES ESTRUCTURALES	84
2.6.5.- MODELOS DE CRECIMIENTO	86

3.- COMPOSICIÓN DE LA SERIE I	89
3.1.- TIPOS ROCOSOS	89
3.1.1.- EDIFICIO NORTE	89
3.1.1.1 - Edificio Norte Inferior	89
3.1.1.2. - Formación Ampuyenta	91
3.1.1.3. - Edificio Norte Superior (Tramo Bajo)	91
3.1.1.4. - Edificio Norte Superior (Tramo Alto)	93
3.1.2.- EDIFICIO CENTRAL.....	93
3.1.2.1 - Edificio Central Inferior	93
3.1.2.2. - Edificio Central Intermedio	94
3.1.2.3. - Edificio Central Superior	95
3.1.2.4. - Rocas Traquíticas.....	95
3.1.2.5 - Formaciones Locales	95
3.1.3.- EDIFICIO SUR	96
3.1.3.1 - Edificio Sur Inferior	96
3.1.3.2. - Edificio Sur Intermedio	98
3.1.3.3 - Edificio Sur Superior	98
3.1.3.4. - Formación La Angostura	99
3.2.-COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA SERIE I	102
3.2.1.- CLASIFICACIÓN EN EL DIAGRAMA SÍLICE - ÁLCALIS.....	102
3.2.2.- LAS SERIES EN EL DIAGRAMA T.A.S.....	103
3.2.3.- CRITERIOS NORMATIVOS DE CARACTERIZACIÓN	104
3.2.4.- CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LAS ROCAS SÁLICAS	107
3.2.5.- ALCALINIDAD DE LAS SERIES Y ELEMENTOS TRAZA	110
3.2.6.- DEFINICIÓN DE SERIES DE EVOLUCIÓN	110
4.- PETROGÉNESIS	
4.1.- IDENTIFICACIÓN DE LOS PROCESOS PETROGENÉTICOS.....	115
4.1.1.- DIAGRAMAS MgO - ELEMENTOS	115
4.1.2.- DIAGRAMAS DE ELEMENTOS TRAZA	119
4.2.- LOS PROCESOS DE CRISTALIZACIÓN FRACCIONADA	123
4.2.1.- MODELIZACIÓN DEL PROCESO DE CRISTALIZACIÓN	124
4.2.1.1 - Basaltos	125
4.2.1.2. - Traquibasaltos	129
4.2.1.3. - Traquiandesitas	129
4.2.1.4. - Traquitas	129

	<u>Página</u>
4.2.2.- TASAS DE CRISTALIZACIÓN - EXTRACCIÓN	130
4.2.3.- MODELOS DE EXTRACCIÓN	132
4.3.- CONDICIONES DE GENERACIÓN DE LOS MAGMAS	
PRIMARIOS	134
4.3.1. - MAGMAS PRIMARIOS	134
4.3.2. - ESTIMACIÓN DE LA COMPOSICIÓN PRIMARIA.....	134
4.3.3. - ESTIMACIÓN DEL GRADO DE FUSIÓN	135
4.3.4. - ANÁLISIS DE LAS DIFERENCIAS	
COMPOSICIONALES PRIMARIAS	137
CONCLUSIONES	141
BIBLIOGRAFÍA	146

LA SERIE I DE LA ISLA DE FUERTEVENTURA.

*Ancochea, E.; *Brändle, J.L.; **Cubas, C.R.

**Hernán, F. y *Huertas, M.J.

RESUMEN

La Serie I de Fuerteventura representa el momento fundamental de crecimiento subaéreo de la Isla. Sin embargo, no se trata de una serie volcánica única sino que está formada por la superposición de Edificios diferentes. Dentro de ella definimos tres grandes edificios circulares: Norte, Central y Sur, con evoluciones distintas y compuestos a su vez por varios edificios.

El Edificio Norte Inferior engloba varias unidades diferentes y su centro se situaría en la zona de la Oliva. La Formación Ampuyenta representaría su destrucción. El Edificio Norte Superior, de edad 14,3-12,8 Ma, tendría su centro al W de los Molinos. Su diámetro sería, aproximadamente, de 38 Km y su altura de unos 2300 m.

El Edificio Central, con un diámetro de 42 Km y una altura aproximada de 2600 m, tendría su centro en el área de Toto-Pájara. Sería esencialmente el resultado de la superposición de un Edificio Central Inferior de edad superior a los 22 Ma y un Edificio Central Intermedio de 22-18 Ma. Es característico en él la formación de una gran Depresión Central tras la cual se emitirían varias Formaciones de carácter local.

El Edificio Sur Inferior muestra una historia compleja y representa el momento de emersión de esa zona de la isla. Los Edificios Sur Intermedio y Superior definen un nuevo Edificio circular de 26 Km de diámetro, aproximadamente 1600 m de altura y una edad comprendida entre 17 y 14,2 Ma.

Se evidencia además la existencia de otros dos Edificios submarinos (Amanay y El Banquete) que en conjunto definen un rift con una rama meridional N 55°E en la que se situaría el Edificio de El Banquete, el Edificio Sur y el Edificio Central de Fuerteventura y otra rama septentrional en la que se alinean los Edificios Central y Norte de Fuerteventura y el de Los Ajaches de Lanzarote. Esta alineación proseguiría hacia el Norte para enlazar con el Banco de la Concepción.

La evolución de la isla está condicionada por la existencia de importantes fases tectónicas, de las que una se situaría con anterioridad a los 22 Ma y otra entre 20 y 16 Ma. La discordancia Complejo Basal-Serie I es en realidad una discordancia entre Complejo Basal-Serie I Superior o Formaciones Locales y está en relación con la segunda fase tectónica antes mencionada.

Cada Edificio tiene características composicionales diferentes. Todas son rocas alcalinas pero de distintas series magmáticas, variando desde ligeramente alcalina-transicional a ultra- alcalina, con una cierta tendencia al aumento de la alcalinidad con el tiempo.

Las rocas más abundantes son los basaltos, siendo progresivamente menos frecuentes los tipos más diferenciados. Las diferencias composicionales existentes entre las rocas de los distintos Edificios y Formaciones son debidas esencialmente a variaciones en el grado de fusión parcial y en la naturaleza de la fuente mantélica, con tasas de fusión que pueden estimarse entre el 6 y el 15%. Los procesos de evolución magmática posteriores son similares en todas las series geoquímicas, con olivino y piroxeno como fases esenciales en el control y desarrollo de la evolución.

*Dpto. Petrología y Geoquímica. U.C.M.-Inst. Geología Económica C.S.I.C. Fac. Geológicas. Madrid.

** Dpto. Edafología y Geología. Fac. Ciencias. Universidad de La Laguna. La Laguna, Tenerife.

ABSTRACT

The Serie I on Fuerteventura represent a fundamental episode in the subaerial building phase of the island. Nevertheless, these old basalts do not form a single volcanic series but different overlapped edifices. We define here, three major shield-volcanoes (Northern, Central and Southern Edifices) of complex evolution that in their turn are composed of several edifices.

The Lower Northern Edifice that includes different units, has its center in La Oliva-area. The associated Ampuyenta Formation, agglomeratic in nature, would represent its destruction. The center of the Upper Northern Edifice is located west of Los Molinos. This Edifice, dated 14.3-12.8 Ma, is some 38 km wide and 2300 m high.

The Central Edifice, 42 km in diameter and about 2600 m high is centered on Toto-Pajara area. This one is basically the result of two overlapped edifices, a lower one older than 22 Ma and a middle one between 22 and 18 Ma. It shows a large Central Depression whose formation was followed by local volcanic activity.

The Southern Edifice exhibits a complex history and corresponds to the moment of emersion of that island zone. The Lower, Middle and Upper Southern Edifices define a new complex shield-volcano which is 26 km in diameter, about 1600 m high and between 17 and 14.2 Ma.

It is also evident the existence of two submarine edifices (Amanay and El Banquete) defining together with the other ones, a two arms rift. The southern arm N 55° is given by El Banquete, the Southern and the Central Edifices on Fuerteventura. The northern one N 15° is marked by the Central and Northern Edifices and Los Ajaches Massif on Lanzarote. This last alignment prolongs northwards up to Banco de la Concepción.

The island evolution has been conditioned by important tectonic phases, one before 22 Ma and another between 20 and 16 Ma. The Basal Complex-Series I unconformity is really situated between the Basal Complex rocks and basaltic lavas flows belonging to local volcanic formations, and it corresponds to the second tectonic phase above mentioned.

All the Edifices are different in composition. All rocks are alkaline but they vary from transitional or mildly alkaline to strongly alkaline showing a slight increase with time in alkalinity.

Basalts are the most abundant rocks while more differentiated terms are progressively less frequent.

Compositional diversity among rocks from different Edifices and Formations are essentially due to variations in partial melting degree and the nature of mantle source.

Melting rates are estimated in 6-15%. - The following magmatic evolution processes are similar for all the geochemical series, being olivine and pyroxene essential phases in the control and the development of evolution.

1.- INTRODUCCIÓN

La Serie I de Fuerteventura ha sido, desde nuestro punto de vista, la "gran olvidada" por las investigaciones petrológicas y vulcanológicas de la isla. "Gran" porque realmente ocupa la mayor parte de la isla, la cubrió por entero y continuó ampliamente en la zona hoy sumergida y "olvidada" posiblemente a causa de la existencia del Complejo Basal. La grandiosa "complejidad" de este último, la aparatosidad de sus fenómenos petrológicos, la singularidad de sus rocas y su espectacularidad general han hecho que la Serie I pasara a considerarse simplemente como algo que había "al otro lado" o "por encima" del Complejo Basal.

Este hecho, sin embargo, ha sido una enorme fortuna para nuestro trabajo pues junto a la complicación, totalmente inesperada, con la que nos hemos encontrado al comenzar a estudiar la Serie I surgieron nuevas hipótesis, nuevos modelos, que han hecho que en el momento actual la idea que se tenía de ella y su significado haya variado radicalmente (como veremos) y varíe casi de día en día, a medida que se van ensamblando los datos que seguimos elaborando. El futuro que se abre para nuevos trabajos en la Serie I y las posibilidades para el desarrollo de nuevos modelos de crecimiento de ésta y otras islas volcánicas son enormes.

El término de **Serie I** procede de las investigaciones que el Departamento de Petrología y Geoquímica y el desaparecido Instituto Lucas Mallada del C.S.I.C. llevaron a cabo en la década de los 60 en la isla de Fuerteventura y que se concretan en el trabajo más representativo y resumen de los anteriores que es la Memoria y Mapa Geológico 1:100.000 (Fúster et al., 1968). Aunque en general nos referiremos a esta obra para citar las investigaciones de ese grupo y época, claramente no es la única y así deben mencionarse el trabajo previo de Fúster y Aguilar (1965), las Memorias y Hojas geológicas 1:50.000 realizadas en el mismo período por Cendrero y Fúster (1968 a y b), Cendrero et al. (1967), Fúster y Sánchez Cela (1967), Fúster et al. (1968 a y b), Alonso et al. (1968 a y b) y, en aspectos concretos, los trabajos de López Ruiz (1970), Muñoz (1969), Gastesi (1969), Ibarrola (1970) y Fernández Santín (1969).

La distribución de las series subaéreas en Serie I, II, III, y IV surge de los trabajos realizados por el mismo grupo en la isla de Lanzarote (Fúster et al., 1968 c) y es después mantenida en Fuerteventura y, con algunas modificaciones, en otras islas.

Hartung (1857) es el primer autor que establece la sucesión de materiales de la isla, distinguiendo:

- 1.- Sienitas y Formación "Trapp" (equivaldría al Complejo Basal).
- 2.- Basaltos antiguos. (equivaldría a la Serie I).
- 3.- Basaltos recientes.
- 4.- Basaltos más recientes.

Fernández Navarro (1926) establece una nueva sucesión en la que mezcla unidades de Hartung:

- 1.- Zócalo antiguo.
- 2.- Serie eruptiva antigua, que incluiría el "Trapp".
- 3.- Serie eruptiva moderna.

Bourcart y Jeremine (1938) establecen una nueva sucesión:

- 1.- "Trapp".
- 2.- Rocas granudas.
- 3.- Basaltos de "plateaux" (equivaldría a la Serie I).
- 4.- Basaltos de planicie.
- 5.- Basaltos prehistóricos.
- 6.- Basaltos históricos.

Hausen (1958), por su parte, distingue:

- 1.- Formación espilitica.
- 2.- Intrusiones.
- 3.- "Table-Land Series" (equivaldría a la Serie I).
- 4.- Volcanes en escudo.
- 5.- Volcanes subrecientes y del Cuaternario tardío.
- 6.- Volcanes recientes.

Finalmente Fúster et al. (1968), en lo que constituye hasta hoy día el esquema estratigráfico más reciente y más ampliamente usado, diferencia:

- 1.- Complejo Basal.
- 2.- Serie basáltica I.
- 3.- Serie basáltica II.
- 4.- Serie basáltica III.
- 5.- Serie basáltica IV.

Un esquema de correlación entre las distintas sucesiones estratigráficas propuestas puede verse en el Cuadro I de Fúster et al.(1968). La Serie I corresponde por tanto a los "basaltos antiguos" de Hartung (1857), a los basaltos de "plateaux" de Bourcard y Jeremine (1938) y a la "Table-Land Serie" de Hausen (1958). En general se trata pues de una serie claramente definida y que todos los autores separan de las restantes.

La mayor parte de los trabajos posteriores se dedicaron al Complejo Basal y su problemática es, por lo tanto, colateral a la nuestra. Los aspectos geocronológicos, que trataremos en detalle, han sido abordados por Rona y Nalwalk (1970), Abdel Monem et al. (1971), Grunau et al. (1975), Feraud et al. (1985), Le Bas et al. (1986), Ibarrola et al. (1989) y especialmente Coello et al.(1992) y Balcells et al.(in press.)

En 1984 se realizan las Hojas del MAGNA 1:25.000 de Betancuria (Fúster et al., 1984a), Pájara (Fúster et al., 1984b), Antigua (Esnaola, 1984) y Puerto del Rosario (Martín, 1984). En ellas se actualizan algunos de los conceptos previos y, sobre todo supone un cambio notable con respecto a lo publicado sobre el Complejo Basal en 1968, aunque no así en lo referente a la Serie I sobre la que las ideas generales permanecen inmutables.

Hoernle y Tilton (1991) analizan los isótopos de Sr, Nd y Pb de distintas rocas de la isla y Javoy et al. (1986) los de oxígeno e hidrógeno. Por otro lado, Cubas et al.(1989) realizan un estudio de los domos sálicos. En todos ellos hay aspectos concretos de interés para la interpretación de la Serie I.

Por último, los trabajos de Ancochea et al. (1991), Cubas et al. (1992) y Hernán et al. (en 1993) suponen un avance de una nueva volcanoestratigrafía para la Serie I y constituyen el inicio del presente trabajo.

La Serie I tiene para todos los autores un significado a grandes rasgos similar. El propio nombre es un reflejo de ello: basaltos de "plateaux", "Table-Land Series" o incluso en los trabajos de Fúster et al. (1968) se les denomina también basaltos fisurales y basaltos horizontales.

Fúster et al. (1968) hacen un resumen de los principales problemas planteados en la Serie I en ese momento. Como desde entonces ha habido pocos trabajos sobre esta Serie, sus planteamientos siguen vigentes, en líneas generales, en el momento de iniciar este trabajo.

Se trata, según dichos autores, de una Serie que comienza "... con un carácter explosivo, que queda reflejado en la gran abundancia de piroclastos y conos enterrados que hay en su base, luego siguen unas emisiones tranquilas de naturaleza fisural que

dieron lugar a grandes paquetes de coladas horizontales que debieron cubrir la totalidad de la isla" (pág.16 op.cit.).

Entre esas dos grandes unidades existió, según esos autores, un período sin efusiones de lava ni productos piroclásticos, con una intensa actividad explosiva en la que se formaron unos depósitos aglomeráticos (pág.56 op.cit.).

Aún señalando una homogeneidad en la Serie separan, desde el punto de vista estratigráfico, cuatro sectores, cuya equivalencia con la volcanoestratigrafía propuesta por nosotros, comentaremos en su momento.

En lo referente a la estructura, Fúster et al. (1968) indican que las coladas están inclinadas hacia el E en el Norte de Fuerteventura y hacia el SE, ESE en el Sur de la isla. Hausen (1958) suponía que las "Table-Land Series" llegaron a formar en su momento en el archipiélago una única masa de tierra emergida, su idea - lógicamente - quedó ya en su día totalmente fuera de lugar al conocerse por un lado la asincronía de las Series y por otro la batimetría entre las islas.-

Fúster et al. (1968) señalan que parece difícil imaginar la existencia de gigantescos estratovolcanes, como suponen otros autores, que ocuparían una superficie muy superior a todo Fuerteventura y Lanzarote, para explicar la disposición periclinal de las coladas. Admiten que la Serie I cubrió la mayor parte de la isla y, en el caso de Jandía, donde el escarpe de Serie I está junto a la costa, debió ocupar incluso zonas hoy cubiertas por el mar. Sin embargo opinan que la disposición actual se debe en parte a basculamiento y que los basaltos "... en general serían casi horizontales, formados por imbricación de coladas y mantos piroclásticos procedentes de múltiples fisuras distribuidas en todo el ambiente hoy ocupado por las islas" (pág.58 op. cit.). Posteriormente, Fúster (1981) admite la posibilidad de que existan grandes edificios hawaianos en la Serie I, pero independientes uno de otro y que, en el caso de Fuerteventura, el que hubo (lógicamente único) pudo llegar a alcanzar un diámetro superior a 100 km.

La distribución actual de la Serie I es explicada por algunos autores mediante fallas que habrían hecho desaparecer buena parte de la isla. Benítez (1946) supone para Jandía la existencia de un Edificio e interpreta la morfología actual como una consecuencia de la formación de una caldera al Norte de la península. Hausen (1958) critica esta idea y supone, como previamente lo habían hecho Bourcard y Jeremine (1938), que la costa Norte de Jandía es una falla con hundimiento hacia el Norte. Cree que la depresión central es también de origen tectónico. Fúster et al. (1968), por el contrario, aseguran no haber encontrado datos que favorezcan la idea de grandes fallas con centenares de metros de salto.

Por último, Fúster et al. (1968) señalan que los diques que atraviesan la Serie I tienen poca relación en sus direcciones con las dominantes en el Complejo Basal. En el sureste la dirección predominante sería SE-NW con una pauta radial incompleta hacia el Complejo Basal, siendo en cambio complejas las direcciones en Jandía: NE y ENE en la zona del istmo y con dos direcciones cruzadas NNE y WNW en el sector meridional de la península.

Como se verá a lo largo del trabajo, los materiales de esta "Serie" no pertenecen a un único episodio, sino a varios desconectados a veces espacialmente y otras temporalmente, lo que hace necesario definir nuevas unidades. Sin embargo, hemos querido mantener el término de Serie I para englobar al conjunto de todas ellas, por no introducir mayor confusión terminológica, ya que es un nombre ampliamente asumido en la bibliografía y por tener, a nuestro entender, un significado en el esquema evolutivo de ésta y de otras islas del Archipiélago.

2.- LOS EDIFICIOS DE LA SERIE I

La Serie I es fundamentalmente una sucesión de coladas basálticas, de varios cientos de metros de espesor, que ocupa hoy día cerca del 50% de la extensión de la isla de Fuerteventura (fig. 1). Para los autores anteriores se trata esencialmente de una serie horizontal basáltica, con una cierta heterogeneidad y discordancias locales, que buza ligeramente hacia el mar debido posiblemente a basculamientos.

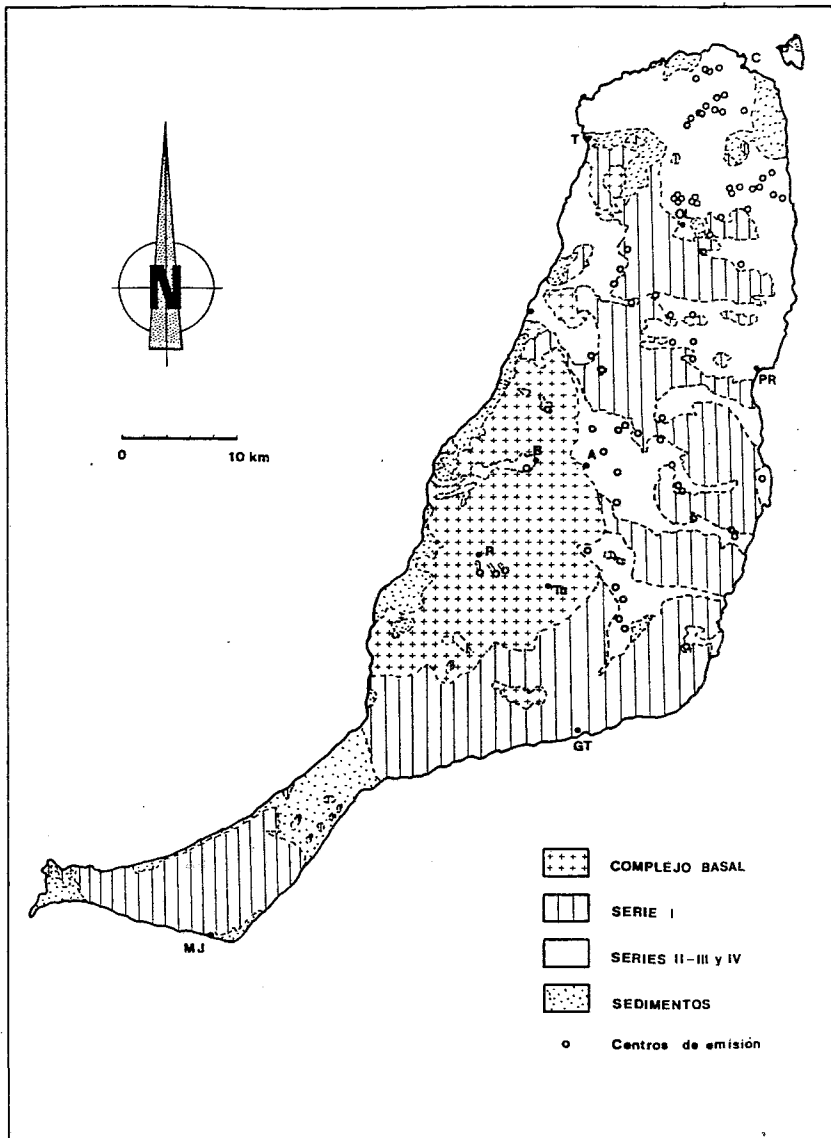


Figura 1.- Esquema geológico de la isla de Fuerteventura, modificado de Fúster et al., 1968.

Ancochea et al. (1991) adelantan que pueden distinguirse dentro de ella tres edificios: Norte, Central y Sur pero, puesto que se trata de cambiar un modelo anterior ampliamente extendido sobre la Serie I, es necesario detenerse en la definición de los edificios y en los criterios que permiten llegar a tal definición. Estos criterios son de diferente índole: **criterios estratigráficos, morfológicos, estructurales** (tanto de disposición de coladas como de diques) y **batimétricos**. En conjunto, pueden plantearse como una **metodología** de interés para afrontar nuevos trabajos en sucesiones similares que aparecen en todo el archipiélago.

2.1.- EDIFICIOS Y SERIES

Fúster et al. (1968) separan cuatro sectores en la Serie I con diferentes estratigrafías locales, aunque después las correlacionan entre sí (fig.2). Su sector Norte comprende desde el Norte de la isla hasta el pueblo de La Oliva; el sector Central de La Oliva a Tuineje; el sector Sur de Tuineje hasta el Istmo y el sector de Jandía la península del mismo nombre. Esta separación en sectores "estratigráficos" tiene razonablemente su sentido, pero no coincide con la idea de edificios que proponemos. La separación en edificios tiene un mayor significado vulcanológico y creemos es de mayor interés, aunque plantea algunos problemas.

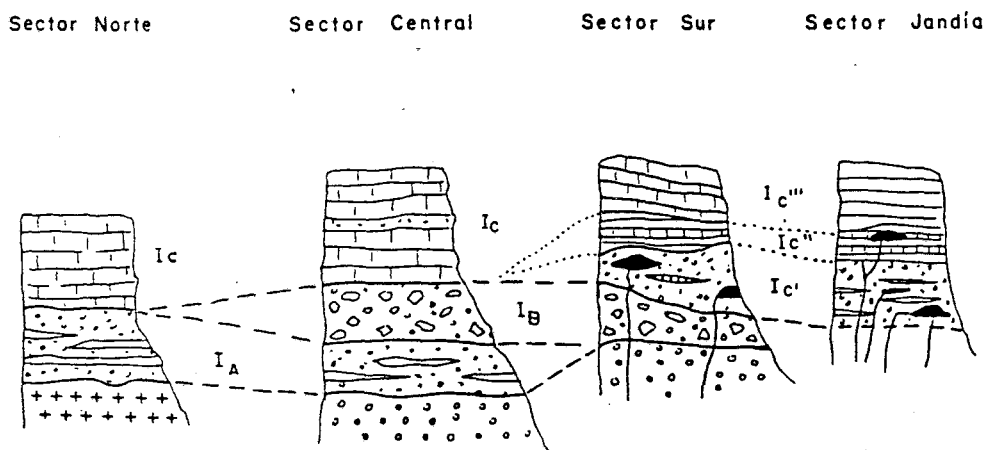


Figura 2.- Estratigrafía y correlación entre los distintos sectores de Serie I, según Fúster et al., (1968).

Una volcanoestratigrafía precisa es la primera forma de aproximarnos a una identificación y definición correcta de los edificios. Sin embargo, la homogeneidad composicional de esta Serie I, esencialmente basáltica, hace difícil establecer diferencias y produce, por otra parte, el que se establezcan correlaciones entre unidades litológicamente similares, pero que no son en absoluto correlacionables. La aparición de unidades litológicamente diferentes, como son las formaciones brechoides

y típicamente la "Formación Ampuyenta", ayudan a definir las sucesiones, pero es también arriesgado establecer correlaciones con ellas, pues no tiene por qué haber sido único el episodio de formación de brechas.

La estructura ha sido básica para la reconstrucción. Por un lado los buzamientos, que aunque son bajos en general (y con frecuencia aún más bajos porque son aparentes), definen a lo largo de la isla dos semicírculos muy evidentes en Jandía y en el Centro de la isla y otro no tan evidente en el Norte. Los buzamientos, con la morfología que condicionan, han sido el primer criterio para separar **edificios**.

Si el buzamiento general define, en primer lugar edificios, las discordancias angulares definen episodios dentro de cada edificio. Ahora bien, la existencia de discordancias en series volcánicas puede ser en muchísimas ocasiones un hecho local y para dejar clara su importancia han de estar acompañadas de otros fenómenos como aparición de una importante alteración meteórica o depósitos sedimentarios o truncamientos de diques. Estas discordancias de primer orden son en las que nos hemos basado para definir los principales períodos de evolución de cada edificio.

Los diques han sido de gran utilidad para confirmar la existencia de los edificios propuestos y localizar su posición. Por último, el análisis de la batimetría, reflejo submarino de estos edificios, se ha utilizado como test para confirmar la presencia y forma de los mismos.

En conjunto proponemos la separación de la Serie I en tres edificios principales que al alinearse, a grandes rasgos, de Norte a Sur, hemos denominado **Edificio Norte**, **Edificio Central** y **Edificio Sur** (o **Edificio Jandía**). En cada uno de ellos, la estructura, sistemas de diques y volcanoestratigrafía indican que esos edificios, cuya morfología degradada observamos, son el resultado de la suma de edificios que se han construido unos encima de otros y cuya historia es más difícil de reconstruir, pues ya no tienen expresión morfológica, al quedar en buena parte cubiertos por los materiales de los edificios más recientes.

Así, en cada uno de los tres grandes edificios los distintos períodos de construcción corresponden realmente a diferentes edificios, que han estado situados siempre en el mismo sector (aunque su posición ha podido variar ligeramente) y que habitualmente están separados por períodos de inactividad importante o por fases tectónicas regionales de entidad.

Podemos pues hablar de un Edificio Norte Inferior y un Edificio Norte Superior, etc... Normalmente la morfología actual es, en lo esencial, reflejo de la morfología del edificio más reciente; así en los Edificios Norte y Sur, es el Superior el que condiciona la morfología, mientras que por el contrario, en el Edificio Central la influencia del Edificio Inferior y del Intermedio es la más importante.

En notas previas (Ancochea et al., 1991; Cubas et al., 1992 y Hernán et al., 1993) en cada edificio se habían separado "Series", siguiendo un criterio exclusivamente estratigráfico. Aquí ponemos de manifiesto que la mayor parte de estas "Series" han formado, para cada zona, edificios independientes por lo que podemos establecer una correspondencia Serie -- Edificio. La Serie I Inferior del Edificio Central (Ancochea et al., 1991) sería entonces el conjunto de materiales que

constituyen el Edificio Central Inferior y así sucesivamente. Sin embargo, no todas las Series definidas en nuestros trabajos anteriores corresponden a episodios de construcción de edificios independientes, ya que a veces se trata de fases esencialmente de destrucción como en el caso de la Formación Ampuyenta (Serie I Intermedia del Edificio Norte).

Por otra parte, en los Edificios Central y Sur existen unas formaciones volumétricamente menores, no relacionadas directamente con sus principales fases de construcción, y a las que en dichos trabajos hemos denominado Series Tardías, separando tres en el Edificio Central (las Formaciones o Series Melindraga, Tamacite y Tableros). Estas formaciones son posteriores a los Edificios Inferior e Intermedio, pero no se conocen bien sus relaciones con respecto a la Serie I Superior del Edificio Central. Por ello en este trabajo evitaremos el término "Tardías" que puede inducir a confusión sustituyéndolo por el término de "Formaciones Locales", para destacar el carácter puntual y local de las mismas.

Con todo ello tendríamos, en Fuerteventura una Serie I dividida en:

- Edificio(s) Norte:

- **Inferior** (constituido por la Serie I Inferior):
 - Tramo bajo
 - Tramo medio
 - Tramo alto = Formación Oliva-Lajares
- **Formación Ampuyenta** (= Serie I Intermedia).
- **Superior** (constituido por la Serie I Superior):
 - Tramo bajo
 - Tramo alto

- Edificio(s) Central:

- **Inferior** (constituido por la Serie I Inferior)
- **Intermedio** (constituido por la Serie I Intermedia)
- **Superior** (constituido por la Serie I Superior)
- **Formaciones Locales:**
 - Formación Melindraga
 - Formación Tamacite
 - Formación Tableros

- Edificio(s) Sur:

- **Inferior** (constituido por la Serie I Inferior)
- **Intermedio** (constituido por la Serie I Intermedia)
 - Tramo bajo
 - Tramo alto

- **Superior** (constituido por la Serie I Superior)
- **Formación La Angostura.**

2.2.- EDIFICIO NORTE: DEFINICIÓN Y CARACTERÍSTICAS

Los restos del Edificio Norte que podemos hoy observar se extienden desde los afloramientos más septentrionales de la Serie I en Fuerteventura, que afloran a la altura de los pueblos de Tostón-Lajares, hasta una zona situada más o menos a la altura de Antigua. Abarca, por tanto, todo el sector Norte de Fúster et al. (1968) y parte de su sector Central.

Dentro de esta zona la Serie I aflora fundamentalmente en la parte Oriental y Septentrional, mientras que hacia el Oeste y Suroeste aparece el Complejo Basal (fig. 1). Tanto uno como otro están, en buena parte, cubiertos por materiales posteriores. Por un lado, los correspondientes a las series volcánicas más recientes (Series II, III y IV) y por otro los depósitos sedimentarios (dunas, encostramientos calcáreos, etc...).

Las características de la Serie I varían mucho de una zona a otra debiendo separarse dos sectores. El Sector Oriental que va desde la depresión central de la isla hasta la costa Este, y en el que la Serie I aparece formando "cuchillos" (alineaciones montañosas en forma de cresta, a grandes rasgos, perpendiculares a la costa y que disminuyen de altura hacia el mar) y el resto de la zona, donde la Serie I aparece en el fondo de la depresión central muy cubierta por depósitos posteriores, o en una sucesión de pequeños cerros que desde La Oliva van hacia Lajares y Tostón Cotillo. (Foto 1).

2.2.1.- VOLCANOESTRATIGRAFÍA

Fúster et al. (1968) en su sector Norte reconocen dos tramos (fig.2): un tramo bajo (su tramo IA) formado... "por coladas y materiales piroclásticos profundamente alterados, en los que ya no se observa estructura tabular y atravesados por un número relativamente numeroso de diques de direcciones no definidas" y un tramo alto (IC) constituido por coladas inclinadas al NE y con menos diques. En el Sector Central (fig.2) distinguen tres tramos, el inferior y el superior que los consideran equivalentes a los anteriores y un tramo medio (IB) formado por "aglomerados de nube ardiente y depósitos laháricos". Para Hartung (1857), Bourcard y Jeremine (1938), Hausen (1958) y Rothe (1966) el tramo medio constituye la base de la Serie I.

Nosotros separamos también tres series: la Serie I Superior y la Serie I Intermedia, que equivalen estrictamente a los tramos Alto y Medio respectivamente del Sector Central de Fúster et al. (1968), y la Serie I Inferior que engloba, por el contrario, todo su Sector Norte. La Serie I Inferior constituye el Edificio Norte Inferior, y la Serie I Superior el edificio Norte Superior. La Serie I Intermedia es equivalente a la Formación Ampuyenta.

2.2.1.1.- Edificio Norte Inferior

Los materiales de este Edificio aparecen fundamentalmente en la Depresión Central, en la costa noroeste y en la base de los cuchillos más altos (fig.3). Están siempre muy cubiertos por depósitos posteriores por lo que sus condiciones de observación son limitadas y las posibilidades de correlación escasas. Están formados en general por basaltos, con pocos diferenciados sálicos o intermedios.

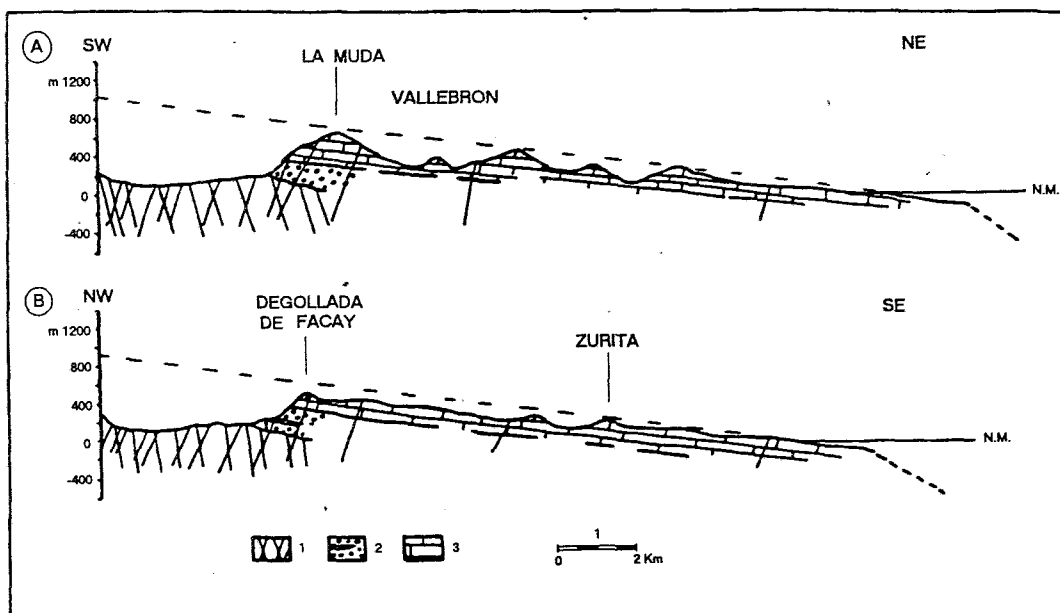


Figura 3.- Cortes geológicos representativos del Edificio Norte. La traza de los mismos aparece marcada en la figura 4. 1 = Serie I Inferior; 2 = Serie I Intermedia; 3 = Serie I Superior.

Su estructura no se puede apreciar, pero en algunos puntos puede verse que se trata de materiales subhorizontales. Están atravesados por numerosos diques pertenecientes a más de un sistema; frecuentemente son de composición traquítica.

Es muy característico de esta serie la intensa fracturación que la afecta, hasta llegar a triturar totalmente la roca, de la que no quedan fragmentos de más de 3-5 cm. Esto dificulta su muestreo y caracterización.

Dentro de este Edificio existen criterios para diferenciar tres tramos: bajo, medio y alto. Las características generales se refieren esencialmente al tramo medio que es el más extenso en afloramiento (Foto 2).

El **tramo bajo** está formado por coladas basálticas, con frecuencia picríticas, muy atravesadas por diques de múltiples direcciones (espaciados uno cada 2 a 5 m). Sus contactos con otras unidades no son claros. Por un lado, pasa al Complejo Basal y por otro lo hace bruscamente, a veces en claro contacto mecánico, al tramo medio. El

que aparezca en contacto con el tramo medio y éste tenga una notablemente menor densidad y complejidad de diques indica que se trata de un tramo diferente y no de una misma unidad atravesada por una malla de diques de distinta densidad. Parece tratarse de una unidad subaérea inferior, tal vez en relación con la historia del propio Complejo Basal.

El **tramo medio**, de composición basáltica similar al anterior, está atravesado por diques de dos sistemas principales con una densidad de uno cada 10 m como valor medio característico. Como acabamos de indicar es el más representativo del Edificio Norte Inferior.

El **tramo alto o Formación Oliva-Lajares** tiene mayores dificultades de interpretación. Fúster et al. (1968) lo consideran como el tramo alto de su sector Norte (IC, fig.2) y lo hacen equivalente al tramo alto de su sector Central, es decir, a lo que nosotros consideramos Edificio Norte Superior. Existen datos que apoyan esta interpretación, como es el que tenga menos diques que los tramos inferiores, o el que se distinga una estructura de alternancia de coladas similar. Sin embargo, hay argumentos de toda índole a favor de nuestra interpretación:

- Primero, tiene más diques que la Serie I Superior.
- Segundo y más importante, los diques son de un sistema distinto y anterior al que atraviesa la Serie I Superior y con frecuencia son sálicos.
- Tercero, la Formación Ampuyenta está siempre debajo de los materiales del Edificio Norte Superior definido por nosotros, mientras que no aparece en contacto con la Formación Oliva-Lajares, excepto en un punto, en la Montañeta de Cho Rivero, donde aparece encima y no debajo de la formación. La naturaleza geoquímica de los materiales y la propia edad radiométrica confirman nuestra idea.

El cerro de La Oliva (Foto 3) está formado por una acumulación de 100 m de alternancia de piroclastos y coladas subhorizontales de basaltos olivínicos y oceanitas en tres grandes paquetes. La Formación Lajares aparece en una serie de cerros que van desde este pueblo hasta Tostón-Cotillo y hacia el Sur paralelos a la costa hasta la Montañeta Negra, donde está en contacto con el Complejo Basal. Se trata también de una sucesión de unos 100 m de basaltos afaníticos, olivínicos y, en menor proporción, basaltos plagioclásicos y traquibasaltos.

El paso desde el tramo medio es insensible, nunca se observa claramente una discordancia, superficie de discontinuidad de ningún tipo, ni diques que se interrumpan. Creemos, por tanto, que para este tramo son factibles dos explicaciones:

- 1.- Se trata realmente de un tramo alto, pero siempre dentro del Edificio Norte Inferior.
- 2.- Se trata del mismo tramo medio, pero que no ha sido afectado por la tectonización que caracteriza a dicho tramo, por lo que no vemos contacto alguno entre ellos y esta es la causa de que den un relieve de cerros siempre más destacado que el del tramo medio. Quizás sea ésta también la causa de que aquí pueda distinguirse su estructura y en el tramo medio no.

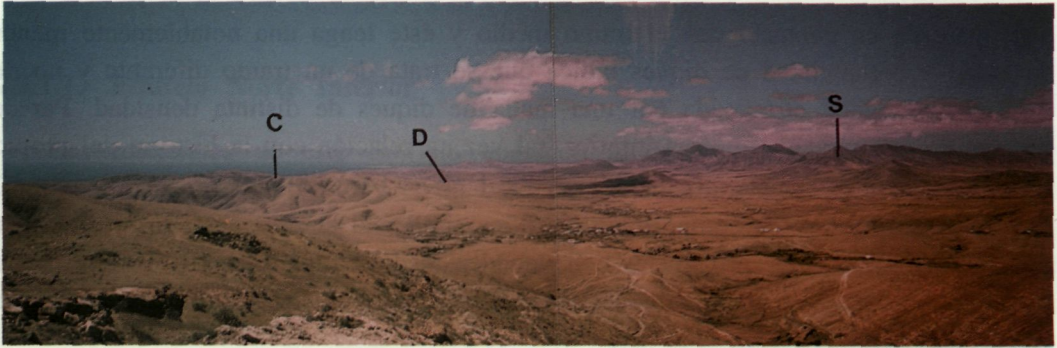


Foto 1.- Panorámica W-E del Edificio Norte desde el Complejo Basal. A la izqda. (Oeste) se sitúa el Complejo Basal (C) en el que se observa la característica red fluvial dendrítica, a continuación la Depresión Central (D) en la que se pueden distinguir dos pequeños edificios recientes. A la dcha. los cuchillos del Edificio Norte Superior (S).



Foto 2.- Aspecto del tramo medio del Edificio Norte Inferior, en las proximidades de la Mª de la Oliva. La roca es un basalto picrítico. Los diques corresponden al menos a dos sistemas.



Foto 3.- Aspecto de la Formación de la Oliva, Tramo Alto del Edificio Norte Inferior.

2.2.1.2.- Traquitas de Tindaya y Tebeto

Comprende tres afloramientos que, en general, han sido considerados conjuntamente por distintos autores. El que estén separados entre sí, es debido a que las rocas traquíticas han sido en parte cubiertas por coladas basálticas de la Serie II.

El más importante de los afloramientos, situado más al Este, es la Montaña Tindaya que constituye un cerro destacado en medio de la Depresión Central. En él las traquitas presentan relaciones claramente intrusivas con la roca encajante según un plano que buza al menos 45° hacia el interior de la estructura. La roca encajante la forman coladas ankaramíticas del Edificio Norte Inferior. Tanto éstas como las rocas de Tindaya aparecen atravesadas por diques basálticos.

Desde el punto de vista estratigráfico atraviesan los materiales del Edificio Norte Inferior y no se ve su relación con las series suprayacentes. El que las traquitas de Tindaya estén atravesadas por frecuentes diques que siguen las direcciones de la Serie I Superior, pero menos que la Serie I Inferior y el que, por otra parte, sean muy frecuentes los diques traquíticos en la Serie I Inferior y no en la Intermedia o Superior, parece indicar que debería situarse temporalmente antes de esas series, dentro de la Inferior y posiblemente en momentos finales de la misma.

En los otros dos afloramientos más occidentales (Tebeto), las relaciones aparecen mucho menos claras, dando a veces la impresión de intrusión pero fundamentalmente de superposición sobre los materiales del Edificio Norte Inferior. Hausen (1956 y 1958) denominó el conjunto como "protaintrusión", "plug volcánico" o "domo de tipo Puy parcialmente intrusivo"; Fúster et al. (1968) como "plug o lacolito alargado" y Muñoz (1969) como "domo endógeno de forma alargada". Por último Cubas et al. (1989), basándose en la ausencia de relaciones intrusivas claras en los afloramientos occidentales y en el relieve suavemente amesetado de éstos, los interpretan como una colada prolongación del domo principal de Tindaya, por lo que denominan el conjunto domo derramado de tipo domo-colada. De ser cierta esta interpretación, indicaría que al haber corrido sobre materiales de la Serie I Inferior llenos de diques en variadas direcciones y que no atraviesan las traquitas de Tebeto, tuvo que existir previamente una importante fase erosiva que sería intra-Serie I Inferior, relacionada tal vez, con la separación entre tramo bajo y medio de la Serie I Inferior.

2.2.1.3.- Formación Ampuyenta (Serie I Intermedia)

Corresponde al tramo medio del Sector Central de Fúster et al. (1968) (fig.2). Se trata de una unidad constituida fundamentalmente por materiales fragmentarios, aunque también tiene coladas intercaladas. El origen de los materiales fragmentarios ha sido interpretado de muy diferentes formas: depósitos de nube ardiente y lahares (Fúster et al.,1968), conglomerados de pie de monte (Hausen, 1958), avalanchas y lahares (Fúster et al.,1984 a).

Aunque en general puede decirse que se trata de una roca "aglomerática" en la que hay bloques de muy distinto tamaño, suspendidos en una matriz más fina, en

detalle la Formación Ampuyenta es bastante heterogénea, variando de aspecto de unos sectores a otros y también en la vertical.

Así, en algunos casos, es un aglomerado poligénico y en otros, por el contrario, los fragmentos son casi todos de la misma composición. En unos casos parece tener un origen más bien "sedimentario" o retrabajado, mientras que en otros se observa un gran número de cantos con una disyunción radial que pueden interpretarse como fragmentos juveniles depositados calientes y, por tanto, claramente volcánicos. El tamaño y la naturaleza de los fragmentos también varía. Habitualmente son de rocas volcánicas subaéreas de todo tipo: basaltos afaníticos, ankaramíticos, olivínicos, plagioclásicos, traquitas... y en algunos puntos de rocas plutónicas. El tamaño más común es de 5 a 30 cm, aunque ocasionalmente puede haber bloques mucho mayores.

Intercalados en las unidades más típicas, aparecen niveles de finos, detríticos, formando cuñas. Hacia el techo de la Formación son cada vez más frecuentes las intercalaciones de niveles sedimentarios, de uno a varios metros de espesor, con cantos subredondeados, rubefactados y bien estratificados. Todo ello indica la existencia de períodos de pausa dentro de esta formación.

Adosados a esos tipos de depósitos de la Formación Ampuyenta, en la parte alta, aparecen unidades de coluviones formados por la destrucción de los materiales aglomeráticos "típicos", pero de edad no muy diferente pues están cubiertos por las mismas coladas de la Serie I Superior y atravesados por el mismo sistema de diques, por lo que hemos de considerarlas como pertenecientes a la misma formación.

En zonas próximas a la Depresión Central es frecuente que estos materiales estén tectonizados. Intercalados con ellos hay coladas, la mayor parte de las cuales aparecen en un nivel relativamente bajo. Así en la zona de La Fortaleza, tras 70 m visibles de formación aglomerática, existen unos 20 m de coladas basálticas pahoehoe muy vesiculares y alteradas, de composición variada: oceaníticas, ankaramíticas, plagioclásicas o de basaltos olivínicos normales. Por encima hay otros 80 m de aglomerados. En los cuchillos centrales de este edificio estas tres unidades se separan con facilidad.

La Formación Ampuyenta aflora esencialmente en la base de la parte interior de los cuchillos (hacia el centro de la isla) (fig.3), pero sólo en los cuchillos centrales. Aparece también en contacto con el Complejo Basal sobre el que (según Fúster et al., 1984) en algunos sectores, se apoya discordante. No aparece nunca al Norte de La Oliva, es decir, no aparece en el ámbito de desarrollo del tramo alto del Edificio Norte Inferior, excepto en el punto ya señalado (Montañeta de Cho Rivero).

Su contacto inferior es claramente una discordancia, aunque no sea siempre evidente en el campo. Los diques que la atraviesan son un sistema único y es el que corresponde a la Serie I Superior. El otro sistema de diques que atravesaba a la Serie I Inferior no penetra en esta formación, reflejo de nuevo de la existencia de una importante discordancia.

Al estar formada en su mayoría por fragmentos de lavas subaéreas, la Formación Ampuyenta ha de representar lógicamente un importante período de destrucción de un edificio anterior subaéreo. Éste no puede ser el Edificio Central, porque justamente

hacia él disminuye el espesor de esta formación hasta desaparecer. Su área de procedencia ha de ser, por tanto, un edificio subaéreo más próximo y septentrional, posiblemente el edificio correspondiente a la Serie I Inferior. La ausencia de la Formación Ampuyenta en el sector Oliva-Lajares hace pensar que en buena parte puede ser ésta el área de procedencia. Por su parte, la aparición de fragmentos de rocas plutónicas en algunos niveles y sectores, indica que el Complejo Basal también puede ser área de origen de estos depósitos.

Entre la Montaña de Enmedio y Montaña Tesjuate, cerca de Puerto del Rosario, en el extremo centroriental del edificio, aparecen 30 m de depósitos análogos a los de esta unidad, intercalados entre coladas. Estos depósitos son realmente parecidos aunque tienen un carácter más sedimentario y en algunos niveles son muy frecuentes los cantos redondeados de gabros. Coello et al., 1992 datan las coladas por debajo de ese nivel que, de ser Ampuyenta, quedaría así predatado. Sin embargo, su asignación a la Formación Ampuyenta creemos que, al menos, ha de considerarse con reservas, y de la misma opinión es Martín (1984) que en la Hoja Geológica 1:25.000 los considera como sedimentos intercalados en la Serie posterior a la Formación Ampuyenta (ver discusión en el apartado de edad).

2.2.1.4.- Edificio Norte Superior

Está formado por una acumulación de más de 300 m de coladas que buzan, como término general, hacia el Este. Sus materiales constituyen los cuchillos en su práctica totalidad, ya que sólo en la parte baja e interna de los cuchillos centrales aparece la Formación Ampuyenta (Foto 4). El contacto con esa formación es aparentemente concordante y es frecuente que en el paso de una a otra existan niveles sedimentarios. No se ven diques truncados en el contacto. Cuando se apoya sobre las unidades de tipo coluvión de la formación Ampuyenta, ambas son claramente discordantes.

En la parte baja de la sucesión son más frecuentes las coladas de tipo pahoehoe, mientras que hacia el techo lo son coladas más potentes aunque con intercalaciones también de pahoehoe.

En la parte alta de los cuchillos son muy frecuentes las coladas de basaltos plagioclásicos, muy porfídicos, que en las cartografías se han empleado como niveles guía (Fúster et al., 1968, Martín, 1984). No son en cualquier caso una serie distinta, por lo que no los hemos separado en una unidad diferente.

En cambio, en la parte de la Montaña del Campo y Morro de las Tinajas aparece una unidad ligeramente discordante sobre la serie principal y separada de ella por niveles sedimentarios. Ésta parece continuarse hacia el Sur en la cima de la Montaña de la Rosa o incluso más al Sur, tal vez hasta el Cuchillete de Buenavista. No hay criterios, por ahora, para valorar la entidad de esta discordancia y si la serie merece ser subdividida.

A la espera de nuevos datos, hemos preferido incluir todo en la misma serie, pero separando un **tramo bajo** que representa a la Serie I Superior de forma genérica y un **tramo alto** que sería esta unidad superior discordante.

Por el Sur, el Edificio Norte, y en concreto su Serie Superior, se solapa con el Edificio Central; de forma que algunos de los cuchillos, como el Cuchillete de Buenavista y los situados más al Norte hasta la Cuesta del Cuchillo, son en su parte baja del Edificio Central y en su parte alta del Edificio Norte. Entre unos y otros materiales aparecen depósitos sedimentarios, reconociéndose en ocasiones paleocanales. Las relaciones entre ambos ponen de manifiesto que el Edificio Norte Superior es posterior al Edificio Central .

2.2.2.- ESTRUCTURA.

La estructura general del Edificio Norte es, como ya se ha dicho, la definida esencialmente por el Edificio Norte Superior. El Edificio Norte Inferior no tiene estructura reconocible en su tramo bajo, se aprecia de vez en cuando una inclinación subhorizontal de sus coladas en el tramo medio y es claramente subhorizontal en el tramo alto, no siendo posible deducir nada más sobre su estructura.

Del mismo modo, poco se puede decir de la estructura de la Formación Ampuyenta. Con mucha frecuencia no se ve, pero en algunos casos y sobre todo, cuando hay coladas intercaladas, puede verse que su ángulo de buzamiento es pequeño y posiblemente muy parecido al de las coladas del Edificio Norte Superior (5° a 9°).

Los autores anteriores interpretaban la estructura general como la de una serie horizontal basculada hacia el Este. Ello implicaba que en los cuchillos que son aproximadamente E-W el buzamiento debería ser siempre más o menos igual y hacia el E. Sin embargo, la estructura de este Edificio Norte Superior responde en nuestra opinión a la de un edificio circular, del que no se conserva nada más que un tercio aproximadamente. El análisis de detalle de los buzamientos, permite apreciar que en los cuchillos más septentrionales las coladas buzaban hacia el NE, no al Este, en los centrales sí buzaban hacia el E y en los meridionales hacia el SE. Es decir, van definiendo una pauta circular.

En la fig.4 aparecen indicados con flechas sentidos **aparentes** de buzamiento y el valor del ángulo aparente de buzamiento. Podemos apreciar que, con frecuencia, los buzamientos en la dirección de los cuchillos son menores que en otras direcciones, lo que indica que no se trata de un basculamiento en la dirección de los cuchillos. Además, el buzamiento aparente más alto (por tanto el más próximo al real) tiende a situarse en una dirección radial con respecto a los cuchillos centrales. Por otra parte, los niveles estratigráficos más bajos aparecen en los cuchillos centrales y no en los más alejados, lo que nuevamente implica que el buzamiento es en ese sentido, desde la zona central hacia NE, E y SE.

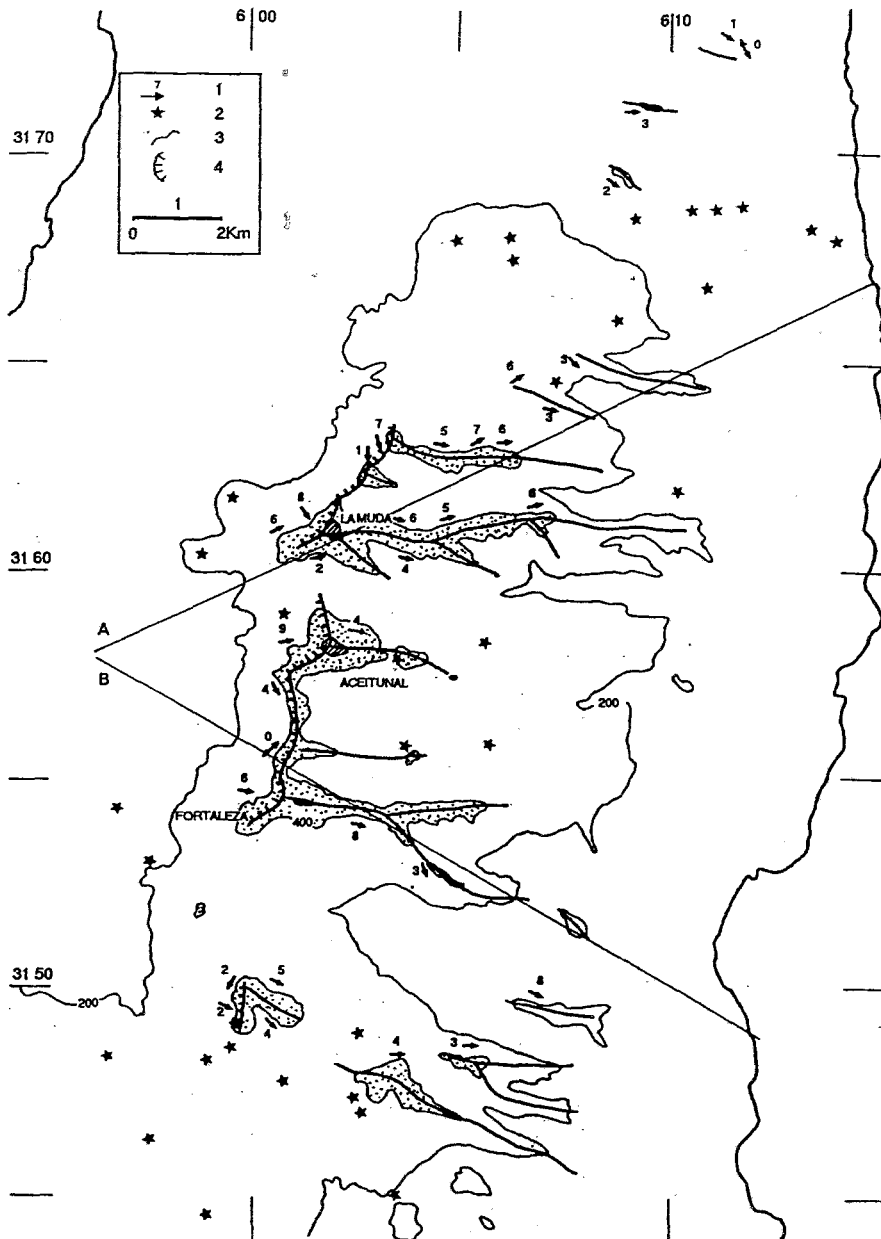


Figura 4.- Esquema morfológico del Edificio Norte Superior. Curvas de nivel de 200, 400 y 600 m.- 1= Dirección y valor de buzamiento aparente de las coladas de la Serie I.- 2 = Centros de emisión de los volcanes de las Series II,III y IV.- 3 = Cresta de los cuchillos.- 4 = Escarpe Central.- Sector con puntos entre 400 y 600 m. Sector rayado: más de 600 m. A y B traza de los cortes de la figura 3.

2.2.3.- CRITERIOS MORFOLÓGICOS PARA LA RECONSTRUCCIÓN DEL EDIFICIO

En el ámbito del Edificio Norte de Fuerteventura, puede hablarse de tres zonas geomorfológicas: oriental, central y occidental.

La oriental está caracterizada por la aparición de "cuchillos". Se trata de alineaciones montañosas en forma de cresta que van aproximadamente de Este a Oeste, bajando de altura hacia el Este. Están separados por valles que con frecuencia tienen forma de "U" y cuyo fondo plano viene dado por el relleno de materiales volcánicos posteriores (Series II, III y IV). En otras ocasiones los cuchillos están separados por valles en V de menor entidad que se unen en su cabecera. Así el cuchillo de Goroy y el de Palomares se unen en la zona de la Rosa de Taro, o lo que es más importante, la mayor parte de los cuchillos centrales se unen en su cabecera desde La Fortaleza a La Muda y de ésta a Morro Tabaiba, dando lugar a un escarpe casi continuo que constituye el borde occidental de la zona morfológica (fig.4).

La zona central está formada por una depresión cubierta por caliche o rellenos posteriores (dunas, coladas recientes, etc.), siendo aquí donde aflora la Serie I Inferior. Por el Norte la aparición de los cerros de la Oliva y Lajares-Tostón modifican parcialmente el aspecto de esta depresión. Hay que destacar la aparición de frecuentes centros de emisión posteriores a la Serie I que se concentran justamente en esta depresión o incluso en el propio borde de los cuchillos: volcanes de la zona de Antigua, valles de Ortega, zona de Tefía-Tindaya o en La Oliva (fig.4).

La zona occidental es donde aflora el Complejo Basal. Se trata de colinas redondeadas recubiertas de caliche, con una red de barrancos dendríticos muy homogénea. La parte del Sur corresponde a las estribaciones septentrionales del macizo de Betancuria. Hacia el Norte, separado por el Barranco de los Molinos, se sitúa el pequeño macizo de Montaña Blanca y aún más hacia el Norte, separado por una zona donde aflora la Serie I Inferior, el conjunto de Montaña Blanca-Milocho.

Es el sector oriental el que más información nos proporciona al intentar reconstruir el edificio, pues es la zona de aparición de la Serie I Superior. La formación de cuchillos puede explicarse tanto en una serie horizontal basculada como en un edificio circular (fig.5). En este Edificio es cierto que la traza, a grandes rasgos W-E, de los cuchillos (fig.4), parece indicar que podría tratarse también de una serie basculada. Sin embargo la estructura de las coladas que los componen, como ya hemos visto, habla de una disposición circular.

Si observamos las alturas máximas de los cuchillos (que lógicamente siempre están hacia el interior de la isla) vemos que son de Sur a Norte 397 m Montaña de la Rosa, 542 m Morro de las Tinajas, 597 m La Fortaleza, 686 m Aceitunal, 689 m La Muda, 530 m Montaña de Enmedio, 527 m Morro Tabaiba, 389 m Montaña del Frontón, 358 m Morro Grande, 215 m Lomo Sin Nombre, 229 m Montaña de la Lengua, 181 m Huriamen. Es decir, van creciendo regularmente hacia la parte central y ello sólo puede ser justificado con una forma circular.

En este edificio circular la cabecera de los cuchillos centrales correspondería a la zona más interior, más alta y donde afloran los niveles estratigráficos más bajos, correspondiente a una situación similar a la 2 de la fig. 5.

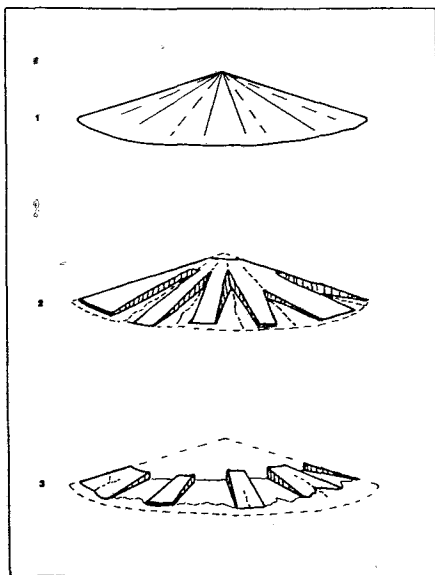


Figura 5.- Esquema teórico de formación de los "cuchillos" a partir de un edificio circular.

En la fig. 3 pueden verse dos cortes esquemáticos, cuyo trazado está marcado en las figs. 4 y 6, siguiendo una trayectoria radial con respecto al posible edificio circular. El corte B es a través de un mismo cuchillo que es aproximadamente radial y puede apreciarse la estructura general buzando periféricamente. El corte A, en cambio, corta a cinco cuchillos y sin embargo, al revés de lo esperable sí hubiera sido una serie basculada, la estructura es idéntica a la del corte B, como corresponde a un nuevo corte radial. Es, por tanto, una prueba más de que estamos ante un edificio circular. Sin embargo, no se conservan los restos de todo el Edificio sino unos 140° del círculo original, desde N 30° a N 170° aproximadamente. La causa de ello, como analizaremos, debe ser en buena parte tectónica.

La arista o cresta de los cuchillos sería, en un edificio con esa estructura, la que más se aproximaría a la superficie original del edificio. Si todos los cuchillos han sido erosionados en similar cantidad, un análisis de los puntos de la cresta que estén a la misma altura, en los distintos cuchillos, puede proporcionarnos una interesante información sobre las dimensiones y situación del edificio. Así, en la fig.6 hemos dibujado con círculos negros los puntos de la cresta que tienen 200 m de altura, en círculos blancos los de 400 m y en triángulos los de 600 m. Puede verse que se ajustan a una estructura circular e incluso que las curvas teóricas de 200, 400 y 600 m son prácticamente equidistantes, confirmando que han sido degradados con tasas similares

de erosión. El centro que ajusta mejor esos puntos a una circunferencia debería corresponder a grandes rasgos con el centro del Edificio.

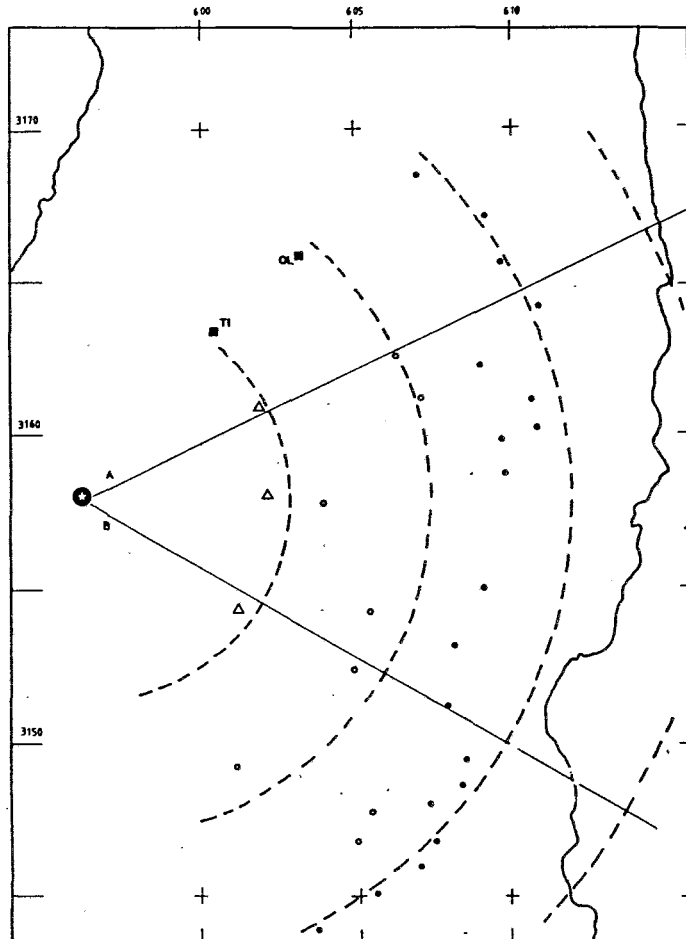


Figura 6.- Esquema de reconstrucción de Edificio Norte Superior. Círculos negros: puntos de la cresta de los cuchillos situados a 200 m. de altura. Círculos blancos: puntos de la cresta de los cuchillos situados a 400 m. Triángulos: puntos de la cresta de los cuchillos situados a 600 m. Estrella: posible centro del edificio. Las curvas indican las curvas de nivel mínimas teóricas del antiguo edificio y permiten aproximarnos a la morfología del edificio. A y B traza de los cortes de la figura 3.

2.2.4.- LOS SISTEMAS FILONIANOS

Los sistemas filonianos de Fuerteventura son una de sus características geológicas más espectaculares. Fúster et al. (1968) señalan que los diques de la Serie I tienen poca relación con los del Complejo Basal. López Ruiz (1970) les presta escasa atención, centrandó su estudio fundamentalmente en los del Complejo Basal, mucho más abundantes. Distingue para todos los diques de Fuerteventura tres generaciones sucesivas: la primera y más importante sería la del Complejo Basal, la segunda serían

los diques basálticos de la Serie I, de variada dirección y la tercera generación serían los diques sálicos de direcciones múltiples que aparecen dispersos en toda la isla.

Si bien es cierto que la mayor parte de los diques del Complejo Basal son más antiguos, no lo es menos que es razonable pensar que buena parte de los sistemas de diques que atraviesan la Serie I han de atravesar los materiales anteriores y, por tanto, el Complejo Basal. Por otro lado, como veremos, los diques sálicos no son en absoluto los más recientes, sino que aparecen en distintos momentos de la evolución de los edificios.

El estudio de los diques se ha mostrado como uno de los métodos más eficaces para la reconstrucción de los edificios. Desde un punto de vista teórico son muchos los factores que pueden condicionar la geometría de los sistemas de diques. Tratándose de edificios de gran volumen, como son de esperar en el caso de la Serie I, los enjambres de diques deben ser de gran importancia. En los dos casos más sencillos geoméricamente, bien en enjambres paralelos o bien en radiales, la densidad de diques será tanto mayor cuanto más próximos estemos a la zona de emisión (intrusión). Esto quiere decir que un simple análisis de la densidad puede ayudarnos a reconstruir la posición de los edificios.

Si se analiza en trabajos anteriores la distribución de diques en el conjunto de la isla (fig.7 A y B, Fúster et al., 1968; López Ruiz, 1970), podemos ver que la dirección NNE - SSW es desde luego la fundamental en el Complejo Basal y, por su densidad e importancia, en la evolución de la isla. Es éste, a nuestro entender, uno de los motivos que ha llevado a pensar a los autores que han trabajado anteriormente en la Serie I que ésta es una serie esencialmente fisural y que, por tanto, no existían edificios circulares.

Si efectuamos el análisis de los diques de la Serie I a partir de las figuras publicadas podemos aplicar distintos modelos para justificar su distribución:

1.- Enjambre de diques paralelos. Esto es válido para el Complejo Basal, pero no para la Serie I.

2.- Enjambre de diques cónico o circular: No hay ningún sector donde se vea que una pauta de este estilo pueda justificar la distribución de diques en la Serie I, exceptuando algún punto concreto, tal es el caso de la zona del Morrito de los Descansaderos (zona occidental del Edificio Jandía), pero su significado es local.

3.- Enjambre de diques con una pauta triple: Está apuntada por la conjunción de la dirección del Complejo Basal N 10°-30° E, con la que aparece en el SE de la isla N 130°-150° E y la de la zona de unión con la península de Jandía N 220°-230° E (equivalente a N 40°-50° E) sector.

Ahora bien:

a.- No está probado que dentro de los diques N 10°-30° E del Complejo Basal exista un porcentaje de ellos que sea posterior y perteneciente al enjambre triple.

b.- Siendo evidente la existencia de las otras dos direcciones en figuras publicadas, no lo es tanto en la realidad, como analizaremos al hablar del Edificio Central (figs. 16 y 17).



c.- No explica la distribución de diques en Jandía, ni en la mitad Norte de la isla.

4.- Enjambre de diques radial para toda la isla: Pudiera ser otra posibilidad, que indicaría la existencia de un único y gigantesco edificio radial, pero, independientemente de otros argumentos, tampoco explica las pautas observadas.

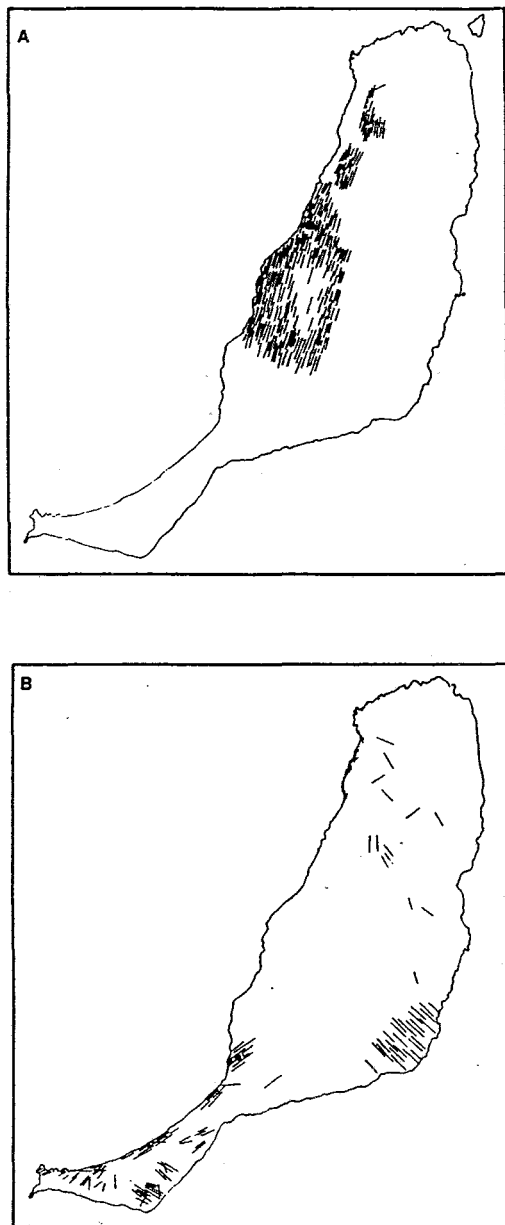


Figura 7.- Esquema de distribución de los diques en Fuerteventura según Fúster et al. (1968).- A = Diques del Complejo Basal.- B = Diques de la Serie I.

Ninguno de esos sistemas justifica la distribución de diques que, como veremos a lo largo del trabajo, quedan explicados por:

- Existencia de pautas radiales grandes, pero no de toda la isla en su conjunto, sino por sectores o edificios.

- Superposición en el tiempo de distintas pautas radiales, dentro de un mismo

Para un modelo de este tipo los principales factores a considerar son:

- Direcciones de diques como indicadores de áreas de convergencia y posiciones de edificios.

- Superposición de direcciones en un mismo punto para la identificación de edificios superpuestos.

- Densidad de diques como criterio de proximidad al foco emisor.

- Relaciones de intersección para explicar la cronología entre edificios.

- Relaciones de truncamiento en planos concretos para deducir la cronología serie estratigráfica-enjambre.

El truncamiento de diques, o la disminución del número de sistemas de diques, han sido utilizados para hacer que las discordancias angulares pasen de ser considerados como fenómenos locales a ser fenómenos de primera magnitud y separar por tanto series y edificios diferentes. El aumento de densidad de los diques, en un enjambre radial, ha de interpretarse como proximidad al centro emisor y no como criterio de antigüedad.

En cada estación hemos medido los diques existentes que, según los casos, podrían pertenecer a una o varias familias lo que quedaría reflejado en una o más direcciones dominantes. El número de diques medido depende del número de diques existentes y de la variabilidad de los mismos. En el laboratorio, para cada estación, hemos hecho la media de los diques de una misma familia (considerando como tales, por ejemplo, aquellos que no se diferenciaban en más de 20), de forma que en cada estación tendremos uno, dos o más valores, dependiendo del número de familias.

Para cada medida hemos indicado en que serie estaban encajados los diques; de forma que si lo hacían en una determinada serie pertenecen a ella misma o a alguna posterior.

Para poder saber en estos últimos casos si el dique era de esa serie o de una superior, hemos analizado en primer lugar únicamente los diques que atraviesan el Edificio Superior, identificando cual era la pauta que seguían y comprobando que habitualmente dichos diques eran radiales.

Hemos procedido a continuación a identificar la posición del centro, bien directamente en un mapa o bien mediante un cálculo matemático (Brandle et al., 1992). Definido éste, podemos construir el entramado de diques de ese enjambre en todo el área del edificio y discriminar, en los diques que encajan en las series inferiores, cuales pertenecen a la Serie Superior, separando de este modo las familias de las distintas series. Es evidente que este artificio puede tener errores, pues en puntos donde el enjambre superior y el inferior tengan direcciones similares eliminaremos posiblemente todos, lo que es claramente incorrecto.

En la fig.8 se ha marcado el conjunto de diques utilizados para el análisis, correspondiendo cada dique del dibujo a la media o medias asignadas para esa estación.

El método de cálculo de la posición del centro emisor se basa en suponer que todos los diques convergen en un sector, que puede ser considerado como el foco y que viene definido por la zona donde el número de intersecciones sea máximo. En los tres edificios Norte, Central y Sur consideramos 168, 205 y 246 datos medios a los que les corresponden por tanto 14028, 20910 y 30135 intersecciones.

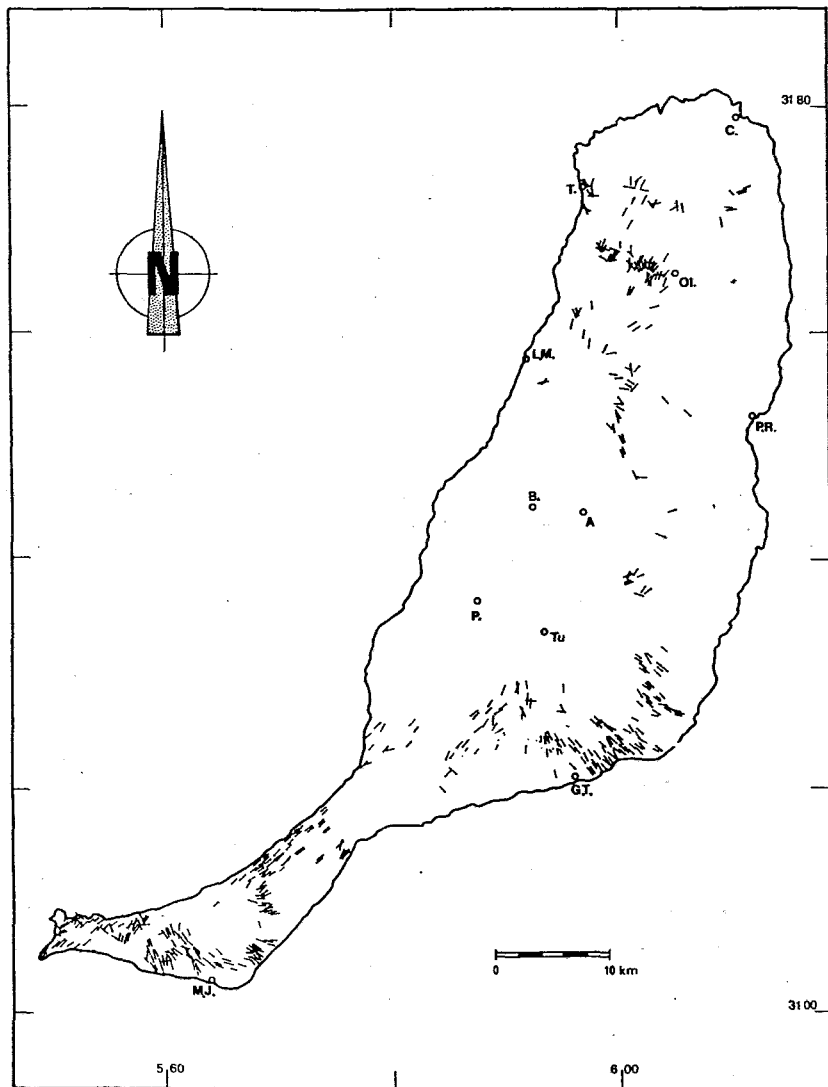


Figura 8.- Esquema de distribución de diques de la Serie I. Se han señalado las medidas medias de diques empleadas en los cálculos de los centros de emisión, suprimiendo algunas para aclarar la figura. El detalle de todas las medidas aparece en las figuras 9,10,16,17,21 y 22. Las áreas sin diques corresponden tanto a zonas cubiertas por materiales posteriores, como a sectores de Serie I sin diques o al Complejo Basal. T.=Tostón Cotillo, Ol.=La Oliva, L.M.=Los Molinos, P.R.=Puerto del Rosario, B.=Betancuria, A.=Antigua, P.=Pájara, Tu.=Tuineje, G.T.=Gran Tarajal, M.J.=Morro Jable.

2.2.4.1.- El enjambre de diques del Edificio Norte Superior

En las figs. 9 y 10 aparecen las 168 datos medios obtenidos, separando los diques que encajan en la Serie I Superior, en la Serie I Inferior y los diques sálicos. Conviene señalar que, mientras que en la Serie I Superior las zonas en blanco indican zonas sin diques y en menor medidas cubiertas, en la Serie I Inferior son claramente zonas cubiertas o sin observaciones.

Lo primero que podemos deducir es lo manifestado anteriormente: que los diques del Edificio Norte I Superior (fig. 9) son mucho menos abundantes que los del Inferior (figs. 9 y 10). Además los diques del Edificio Norte Superior son mucho más frecuentes cuanto más nos acercamos al centro del edificio circular que hemos supuesto, siendo muy escasos o inexistentes al alejarnos, por ejemplo en la zona de la costa oriental.

Considerando sólo estos diques vemos que siguen una pauta radial y con direcciones análogas a las de afloramiento de la serie, desde N 30° a N 170°, y que convergen en un área situada en la depresión central, a la altura de Los Molinos. El cálculo matemático sitúa el centro entre las coordenadas UTM 3157 y 3160,3 de latitud y 594,7 y 599 de longitud (fig. 9) en el sector antes mencionado.

En la fig.9 se representan todos los diques que pueden interpretarse como del Edificio Norte Superior, tanto los que lo atraviesan, como los que están atravesando la Serie I Inferior y son interpretados como del Superior con el centro antes calculado y suponiendo una pauta radial.

La Formación Ampuyenta tiene los mismos diques que el Edificio Norte Superior y posiblemente no tiene otros propios, como corresponde a un momento esencialmente destructivo.

En el extremo más NE, los últimos cuchillos, Montaña de La Lengua y Montaña de Huriamen, están atravesados por diques que no corresponden a la pauta radial general y además tienen diques traquíticos. Todo ello parece indicar que pudieran corresponder más al tramo alto de la Serie I Inferior (Formación Oliva-Lajares) que a la Serie I Superior. Su asignación debe ser revisada en un futuro.

2.2.4.2.- Los diques del Edificio Norte Inferior

La interpretación de los diques del Edificio Norte Inferior es más difícil. Por una parte, son muchos y muy diferentes, por otra, no son los mismos en cada uno de los tramos que hemos distinguido.

Si suprimimos aquellos que pueden justificarse como del Edificio Norte Superior (lo que creemos que en general es correcto, porque en varios puntos hemos podido comprobar que son los últimos), nos quedan unas direcciones relativamente dispersas (fig. 10). Con una metodología similar a la empleada hasta ahora, podemos ver que los diques que atraviesan el tramo alto de la Serie I Inferior parecen converger hacia una zona situada entre Oliva-Lajares y Tostón. El cálculo matemático, sin embargo, no proporciona resultados concluyentes. Es, por consiguiente, posible que pueda

definirse un centro de edificio en ese sector, que correspondería a la Formación Oliva-Lajares y tal vez también al tramo medio de este Edificio Norte Inferior.

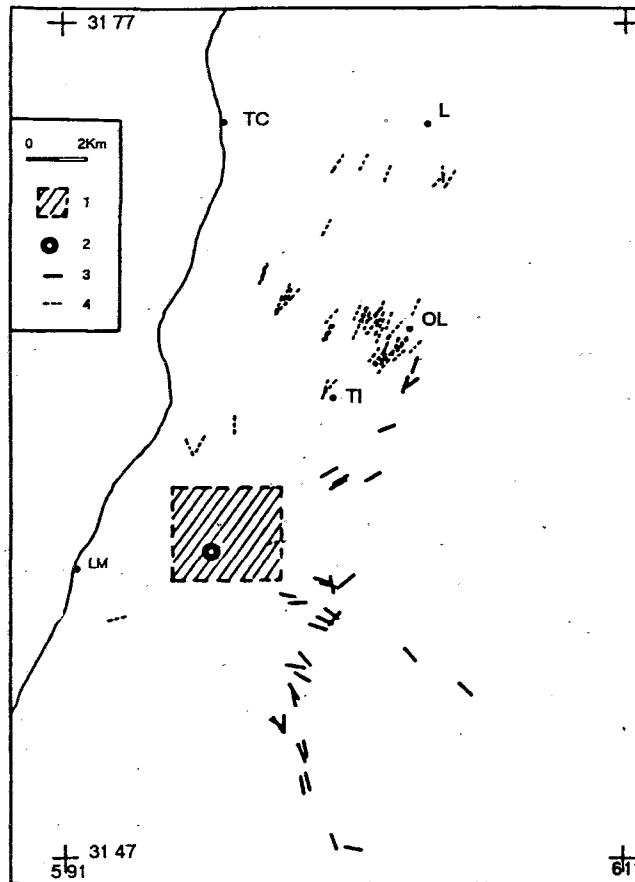


Figura 9.- Diques del Edificio Norte de la Serie I Superior. 1.- Área calculada de convergencia de diques. 2.- Centro "morfológico" de la figura 4. 3.- Diques que atraviesan la Serie I Superior. 4.- Diques que encajan en la Serie I Inferior, pero cuya dirección puede justificarse suponiendo que pertenecen a la Serie I Superior.

Los diques sálicos (fig. 10) no parecen seguir una pauta concreta (o aún no hemos sabido interpretarla), algunos convergen hacia la zona de Oliva-Lajares- Tostón antes mencionada, otros parece que lo hacen hacia el área de Tindaya-Tebeto, sin que pueda por el momento decirse mucho más. En cualquier caso no son en este edificio el último episodio filoniano, como opinaba López Ruiz (1970), sino que, con respecto al conjunto de los diques de la Serie I del Edificio Norte, constituyen un episodio intermedio.

Quedan aún por analizar los diques del tramo bajo, en los que se reconocen direcciones adicionales. Un trabajo en este sentido, nos puede ayudar a separar edificios lo que es de gran importancia a la hora de reconstruir los momentos iniciales de la evolución subaérea de la isla.

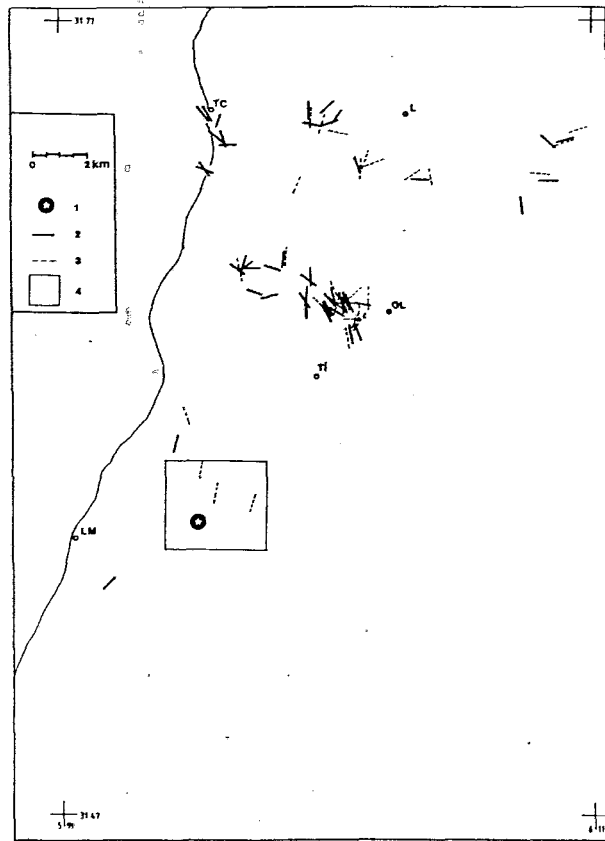


Figura 10.- Diques del Edificio Norte de la Serie I Inferior. 1.- Centro "morfológico" de la figura 4 y que correspondería al centro aproximado del Edificio de la Serie I Superior. 2.- Diques básicos que atraviesan la Serie I Inferior y cuya dirección no se justifica con la pauta de los diques de la Serie I Superior. 3.- Diques sálicos.

2.2.5.- BATIMETRÍA

El análisis de la batimetría de las proximidades de Fuerteventura pone de manifiesto notables diferencias de unas zonas a otras (fig. 11). La batimetría del Edificio Norte se caracteriza porque en el sector más septentrional, desde el comienzo del área de influencia de este edificio hasta una latitud UTM 3163 aproximadamente, la pendiente del fondo desciende muy rápidamente (alcanza los 100 m de profundidad a 1 km de la costa y 500 m a 2 km). La pendiente disminuye desde aquí hasta la zona del aeropuerto (UTM 3147); los 100 m se alcanzan a 3 km aproximadamente y los 500 a los 4 km. A partir de ahí hasta el 3140 UTM, es decir al final del edificio, el fondo se hace similar al del principio.

Si comparamos esta forma con la del trazado del posible edificio (fig. 6), vemos que la posible curva de 0 m del nivel actual de los cuchillos penetra en el mar justamente en la zona donde la pendiente se hace menor. Parece pues, que la batimetría

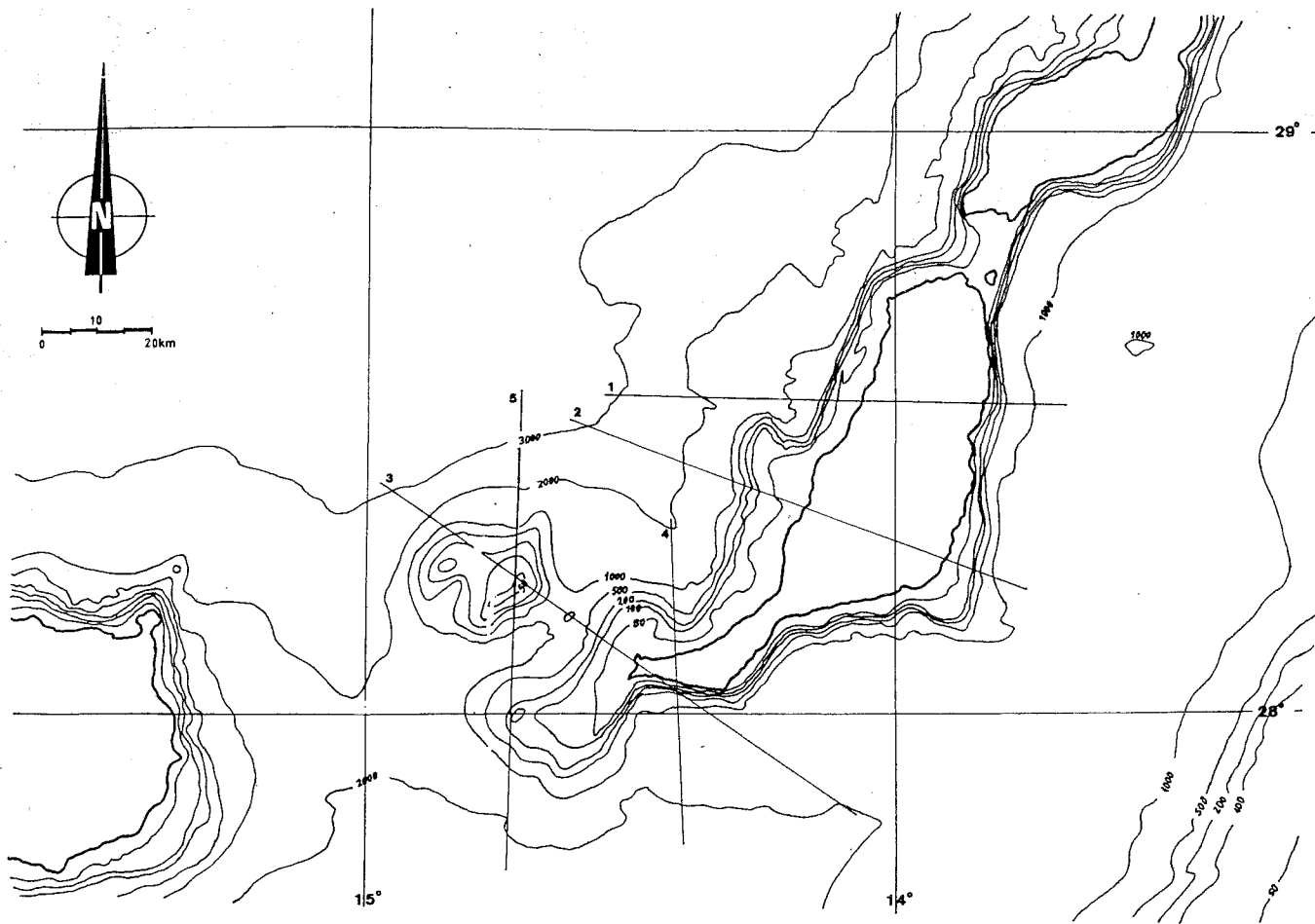


Fig. 11.- Batimetría de las Islas Canarias Orientales tomada del Mapa Topográfico Nacional 1:1.000.000. Los números indican la traza de los perfiles de la figura 12.

en esta costa oriental refleja una vez más la posición del edificio circular, cuyos límites estuvieron muy próximos a la costa Este, como indica el brusco descenso de los sectores mencionados. En cambio, si nos fijamos en la batimetría del lado occidental, ésta es mucho más plana (fig. 11). Se alcanzan los 100 m de profundidad a 5 km de la costa y los 500 m a 7 km. Para un edificio circular como el propuesto, del que hoy falta más de la mitad y cuyo centro está desplazado hacia el lado occidental de la isla, la batimetría que cabe esperar se prolonga más por el lado occidental submarino que por el oriental. La fig. 12, en la que se muestra un corte W-E de la isla y del fondo marino a la altura de este Edificio pone de manifiesto el razonamiento anterior.

2.2.6.- DIMENSIONES

A la vista de todo lo expuesto queda, a nuestro entender, bien definido el Edificio Norte como un edificio circular para la época de la Serie I Superior. Para la Serie I Inferior es difícil la reconstrucción, pero debe haber existido otro edificio situado algo más al Norte correspondiente a la época de la formación del tramo alto.

El Edificio Norte Superior estaría centrado en una zona al Este de Los Molinos y tendría un radio de 18-20 km. Se puede hacer un cálculo aproximado de la altura del edificio conociendo el radio y la altura de un determinado cuchillo, calculando la pendiente teórica de una línea que uniera ese punto con el mar y extrapolándolo hasta el centro del edificio. En los cortes de la fig. 3 se esquematiza el sistema: la línea tangente a las cimas desde el mar nos da en la zona de centro una **altura mínima**.

Haciéndolo por tres de los puntos más significativos y con un centro como el de la fig. 6 ó 8 tenemos las siguientes alturas mínimas: a partir de La Muda: 1.034 m, a partir del Aceitunal: 1.056 m, a partir de La Fortaleza: 960 m

Estas alturas mínimas corresponderían con pendientes originales de 3°, las cuales parecen muy pequeñas para un Edificio de estas características. Los volcanes en escudo toleíticos en Hawaii tienen pendientes entre 3° y 10°, con una media de 6°, siendo la media para el caso de los volcanes alcalinos de 12 (Peterson y Moore, 1987). Suponiendo por tanto unas pendientes algo mayores, más habituales para este tipo de edificios y más acordes con los buzamientos medidos (fig.4), para un radio de unos 19 km, tendríamos alturas de 1.700 m, 2.300 m y 3.000 m para pendientes de 5°, 7° y 9° respectivamente.

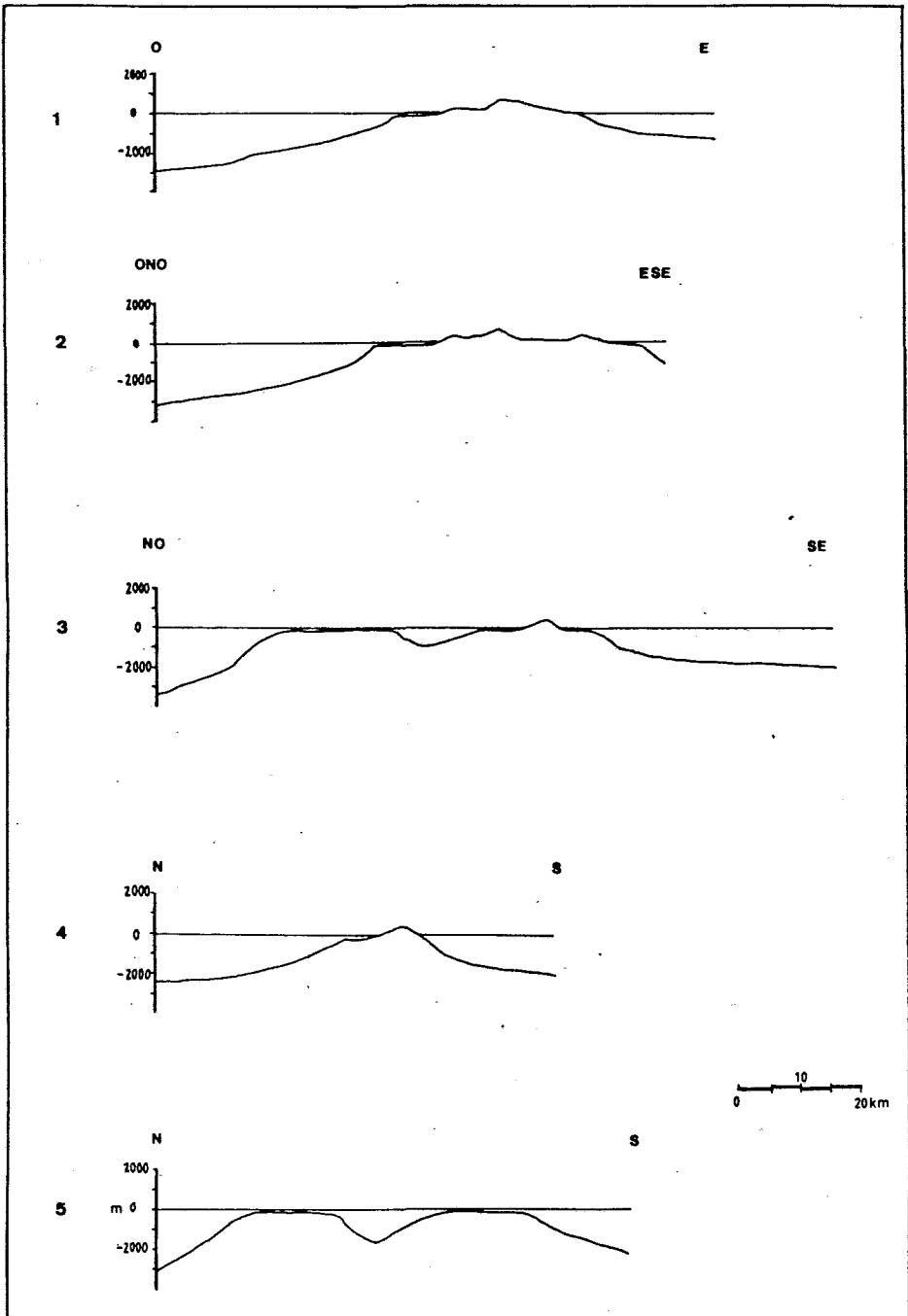


Figura 12.- Perfiles de la isla de Fuerteventura y de la zona submarina próxima. Traza de los mismos en la figura 11.



Foto 4.- Panorámica de los cuchillos del Edificio Norte Superior a la altura de Morro Tabaiba (T) y la Muda (Mu), desde la Mª de la Oliva. La parte baja encañada corresponde a los materiales del Edificio Norte Inferior (I). En los cuchillos en la zona acarcavada está la Formación Ampuyenta (M) (hasta la línea azul) y finalmente, la parte más alta corresponde a las coladas del Edificio Norte Superior (S). Puede apreciarse la inclinación hacia el Este (izqda.).

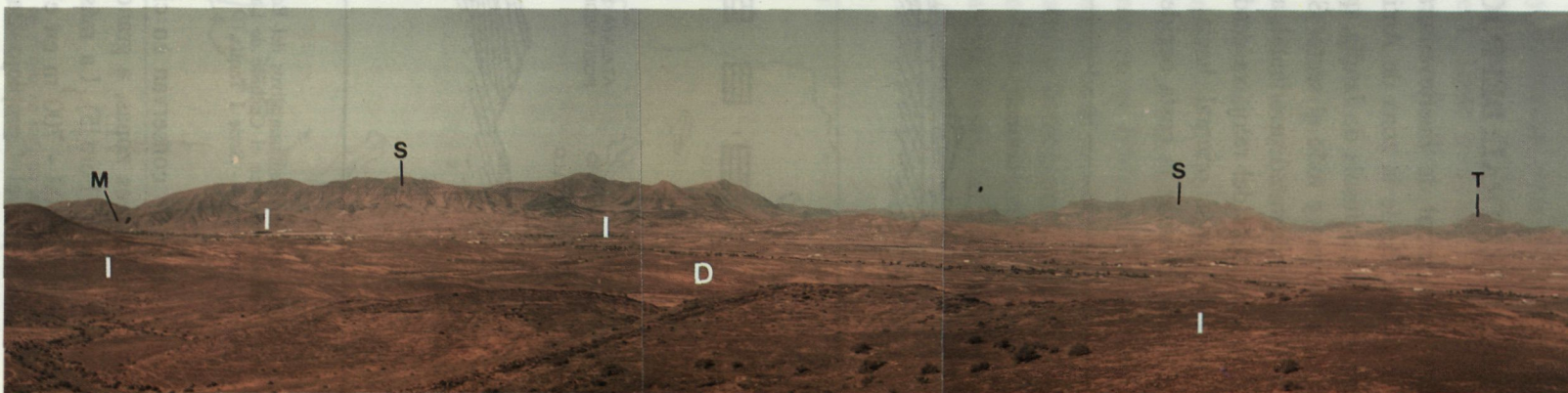


Foto 5.- Aspecto general del Edificio Central desde los cuchillos orientales (S izqda., N dcha.). En primer plano la Depresión Central (D) y la Serie I Inferior (I), los cuchillos de Serie I Intermedia (M), Superior (S) y la Formación Melindraga (T).

2.3.- EDIFICIO CENTRAL: DEFINICIÓN Y CARACTERÍSTICAS

El Edificio Central de Fuerteventura se extiende por la mitad Sur del cuerpo principal de la isla, desde la zona de Antigua, donde se solapa con el Edificio Norte, hasta el istmo de la península de Jandía, que le separa del Edificio Sur (fig.1). Incluye parte del sector Central y todo el sector Sur de Fúster et al. (1968). La Serie I aflora en esta zona sólo en la mitad suroriental, a lo largo de una especie de semicírculo que, en sentido de las agujas del reloj, va desde la zona de Antigua-Barranco de la Torre, siguiendo toda la costa oriental hacia el sur, hasta el istmo y sobrepasándolo ligeramente hasta alcanzar la costa occidental de la isla.

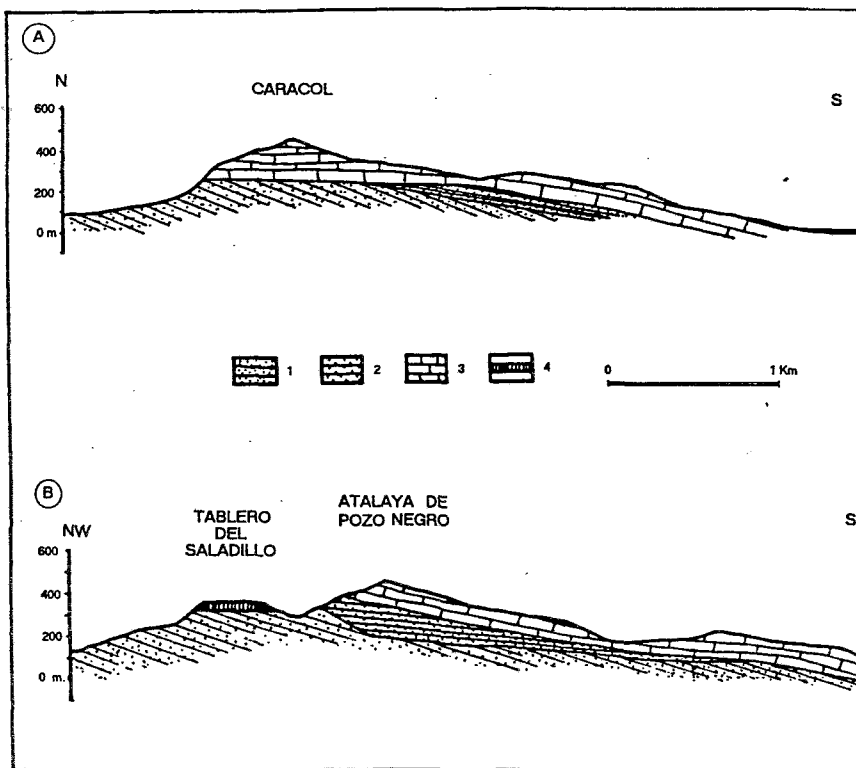


Figura 13. Cortes geológicos representativos del Edificio Central. A: en el sector meridional, en el Cuchillo de Caracol y B: en el sector oriental, en el Cuchillo de La Atalaya de Pozo Negro. 1.- Serie I Inferior. 2.- Serie I Intermedia. 3.- Serie I Superior y 4.- Serie I Tardía.

Morfológicamente, se conservan en cierto modo las unidades del Edificio Norte. Se puede así hablar de tres zonas, a grandes rasgos concéntricas, siguiendo el teórico semicírculo antes citado (Foto 5). La más interior y elevada, con alturas próximas a 400 m en la costa y a 600 - 700 m en el límite con la siguiente zona, está formada casi exclusivamente por el Complejo Basal. Rodeándola hacia el exterior (sureste) aparece bruscamente la segunda zona, la central, constituida por una depresión de

fondo más o menos plano con alturas muy constantes entre 100 y 200 m. En ella sigue habiendo materiales del Complejo Basal, pero a medida que avanzamos hacia el exterior empiezan los materiales de la Serie I. Tanto sobre el Complejo Basal como sobre la Serie I aparecen potentes sucesiones de sedimentos, caliches, coluviones, etc. que cubren buena parte de los afloramientos.

Coincidiendo con esta **depresión central** aparecen, en la parte más septentrional, los edificios subhistóricos de la caldera de Gairía (que da lugar al llamado Malpais Chico) y los volcanes de La Laguna, Liria y Los Arrabales que originan el Malpais Grande, rellenando parcialmente la citada depresión.

La zona exterior se extiende desde la depresión central hacia la costa oriental y meridional. Es donde aparece la Serie I en toda su extensión y complejidad, sin que prácticamente existan otros materiales. Como en el Edificio Norte, está constituida por cuchillos formados por sucesiones de coladas basálticas con valles intermedios que llegan hasta la costa. Los cuchillos tienen alturas homogéneas, entre 300 y 400 m y se extienden radialmente alrededor de las dos zonas anteriores (fig.14). En el extremo occidental, hacia Huertas de Chilegua y Las Hermosas, las zonas interior y exterior se unen, desapareciendo la intermedia (la depresión central).

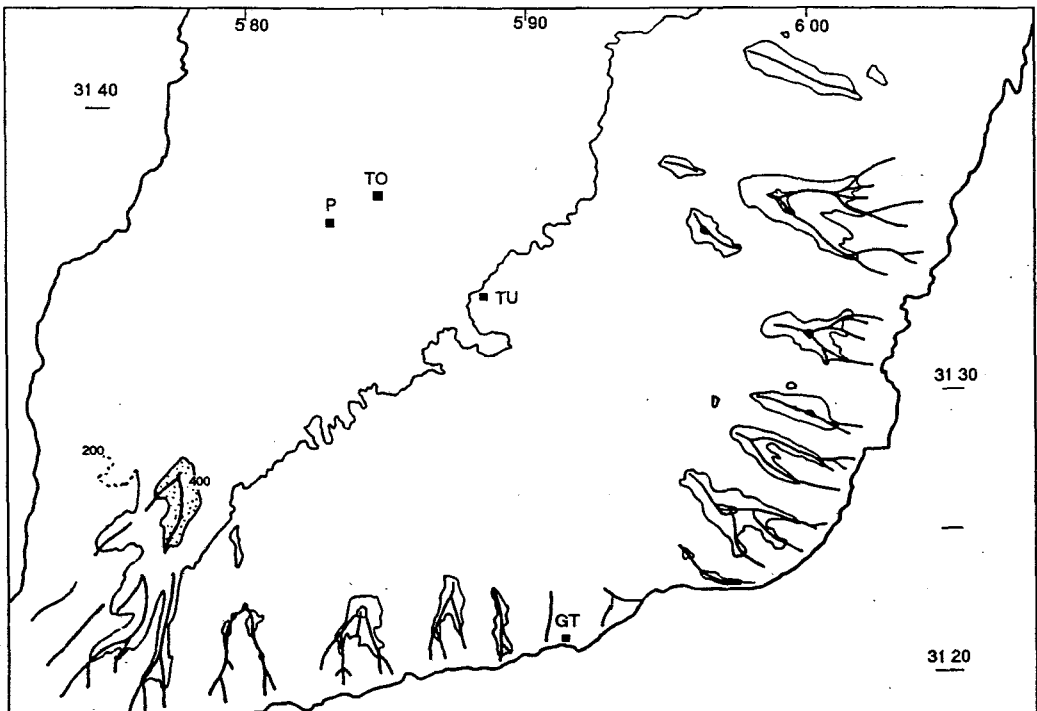


Figura 14.- Esquema morfológico del Edificio Central en el que se indican las curvas de nivel de 200 m y 400 m. El punteado a alturas superiores a 400 m. Se indican también con líneas más gruesas las crestas de los cuchillos. P.- Pájara, TO.- Toto, TU.- Tuineje, GT.- Gran Tarajal.

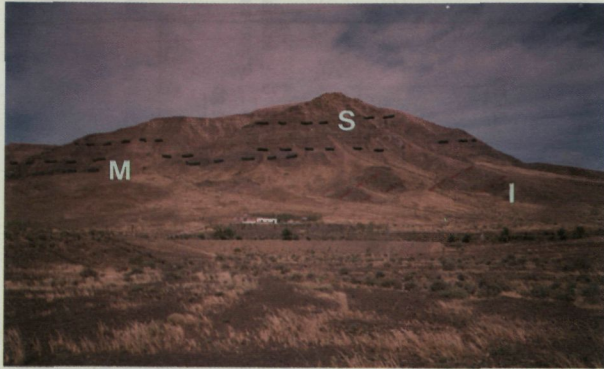


Foto 6.- Edificio Central. M^{ta} del Caracol. En primer término los materiales del Edificio Norte Inferior (I) (líneas rojas), por encima el Edificio Central Intermedio (M) (líneas azules) y coronando el Superior (S) (Líneas negras). Corresponde, a grandes rasgos, con el corte de la fig. 13 A.



Foto 8.- Edificio Central Inferior, tectonizado. Zona de Las Hermosas.



Foto 7.- Edificio Central. Morro del Recogedero (R) y Agudo (A). Queda aproximadamente representado en el corte de la fig. 13 B. Líneas rojas discontinuas: Edificio Norte Inferior (I). Líneas azules: Edificio Central Intermedio (M). Líneas negras: Edificio Central Superior (S). Línea roja continua: Formación Tableros (T).



Fotos 9.- Edificio Central. Formación Melindraga (T). Puede apreciarse como las coladas de la Formación Melindraga descenden por la pared del escarpe de la Depresión rellenando un paleovalle excavado en el Complejo Basal (B).

2.3.1.- VOLCANOESTRATIGRAFÍA

En este edificio han sido distinguidas cuatro series: inferior, media, superior y tardía (Ancochea et al.,1991). Aunque con matices, las tres primeras pueden corresponder a los tramos Ic' , Ic'' y Ic''' de Fúster et al. (1968) (fig.2). Sin embargo, se discrepa en su correlación, pues no son en absoluto correlacionables con el tramo Superior (Ic) de los otros sectores de Fúster et al. (1968) (es decir, con la Serie I Superior del Edificio Norte). Las cuatro series son discordantes entre sí. Las Series Inferior, Intermedia y Superior definen otros tantos edificios: Edificio Central Inferior, Edificio Central Intermedio y Edificio Central Superior, mientras que las Series o Formaciones Locales tienen, como veremos, un significado totalmente diferente.

2.3.1.1.- Edificio Central Inferior

Los materiales del Edificio Central Inferior aflora en la parte más interna. Comienza a aparecer en la zona morfológica intermedia y prosigue hasta el frente interno de los cuchillos y valles entre cuchillos (Foto 5). Su contacto con el Complejo Basal no es claro, a veces casi parece gradual, aunque en general las diferencias tanto de grado y tipo de alteración, como de intensidad de intrusión filoniana indican que debe tratarse de una discordancia.

En todo el sector, desde el cuchillo Agudo hasta el Caracol, suele aparecer formando unos pequeños cerros siguiendo la pauta circular en el límite entre las zonas morfológicas central y exterior. Todos tienen una estructura similar con cimas algo inclinadas hacia el exterior y alturas entre 150 y 220 m. Está compuesta fundamentalmente por rocas basálticas, que destacan por su color negro y por su gran contenido en fenocristales máficos, sobresaliendo especialmente, por su tamaño, los de augita.

Lo habitual es no observar estructuras volcánicas destacables, formando un conjunto masivo, bastante uniforme y fracturado en fragmentos centimétricos que desde lejos dan aspecto de material fragmentario. Fúster et al., 1968, consideran en su cartografía estas unidades como materiales piroclásticos. Sin embargo, no hemos encontrado en esta unidad prácticamente ningún piroclasto y sólo en el Valle de Agando aparece un pequeño afloramiento que debe corresponder a los restos de un edificio formado esencialmente por escorias soldadas asociado a coladas pahoehoe'.

El espesor de estos materiales puede estimarse en más de 1000 m llegando en algunas ocasiones a los 1500 m.

En el extremo suroccidental la Serie I Inferior está fuertemente fracturada y cataclastizada (Foto 8), siendo lo normal que el contacto con el Complejo Basal sea tectónico y muy complejo, como sucede en la zona de la costa occidental.

Todo el Edificio Central Inferior está intensamente atravesado por diques.

2.3.1.2.- Edificio Central Intermedio

Este edificio tiene peor definición y mayor variabilidad que el anterior, pero se distingue habitualmente bien porque sus materiales no se apoyan sobre el Complejo Basal sino sobre los del Edificio Central Inferior y suele estar cubierta por la Serie I Superior, normalmente discordante.

El contacto con la Serie I Inferior no es siempre claro, con frecuencia es una discordancia en la que ambas series tienen similar dirección y sentido del buzamiento, siendo claramente menor el ángulo de buzamiento de la Serie I Intermedia (10°-20° hacia el mar). En ocasiones (en el sector occidental) entre ambas series aparece una brecha poligénica de matriz arenosa-arcillosa que contiene fragmentos basálticos de todas las composiciones pero no del Complejo Basal, con espesores de unos 60-80 m, de extensión local y que posiblemente corresponden a debris-flow del desmantelamiento parcial del Edificio Central Inferior.

En la cartografía 1:100.000 de Fúster et al. (1968) se prolonga la extensión de la Formación Ampuyenta por todo este edificio, en el contacto entre Complejo Basal y Serie I. Nosotros no hemos encontrado indicios de dicha formación en la mayoría de los sectores donde aparece cartografiada. En algunos lugares se trata simplemente de materiales sedimentarios anteriores a la Formación Melindraga. La brecha que hemos mencionado antes tiene, en cambio, una gran similitud con la de la Formación Ampuyenta y tal vez pudiera intentar establecerse una correlación con ella. Sin embargo, si admitimos los resultados geocronológicos de Coello et al. (1992) esta correlación sería temporalmente imposible.

La Serie I Intermedia aparece en todo el edificio y bordeando los afloramientos del Edificio Central Inferior. En algunos puntos está cubierta por materiales de la Serie I Superior, pero en otros, como en La Entallada o Tisajorey, constituye la parte alta o la mayoría de los cuchillos. En ningún caso aflora en la depresión central. En algunos lugares no hay discordancia angular, ni hemos encontrado depósitos que indiquen el paso de un serie a otra; la distinción es entonces difícil.

En general, la Serie I Intermedia está constituida por coladas y escorias, no de grandes espesores, con contactos entre unas y otras irregulares y con descuelgues locales. En el Sur tiene unos 300-400 m de espesor visible, alcanzando mayor espesor en el sector oriental (500 m) donde las coladas son además más potentes.

Mientras que en el Edificio Central Inferior es difícil reconocer centros de emisión, en esta serie sí aparecen concentraciones de piroclastos que indican su presencia, sin que éstos tengan que haber sido los únicos responsables de la emisión de toda la serie. En el Oeste, en el cuchillo de Cuevas Labradas o en las proximidades de La Lajita, son frecuentes los productos piroclásticos. Lo mismo sucede en el sector oriental, en el cuchillo de la Entallada, en la parte Norte de Vigán, etc. Se trata de restos de centros de emisión enterrados por coladas de la misma serie. Aunque en menor medida que el Edificio Central Inferior, está también atravesado por diques, sobre todo en el sector suroriental.

2.3.1.3.- Edificio Central Superior

Los materiales del Edificio Central Superior constituyen la parte más elevada de la mayoría de los cuchillos. Se apoya unas veces discordante y otras aparentemente concordante sobre las demás unidades. Habitualmente lo hace sobre la Serie I Inferior o Intermedia aunque en la zona occidental, en Cardones, lo hace sobre el Complejo Basal.

Sin embargo, no aparece en todos los sectores, con lo cual es difícil correlacionarla de unas áreas a otras y es posible que puedan ser unidades distintas. Así dentro de la Serie podríamos hablar de una Formación Cardones o Cardones-Resbaladero en la parte suroccidental, una Formación Caracol en la parte meridional y una Formación Pozo Negro en la parte oriental del edificio. La evolución en esos tres sectores puede haber sido diferente, si bien tienen en común su similar posición estratigráfica y consecuentemente su posible similitud petrológica.

"Cardones" se apoya sucesivamente sobre Complejo Basal, Serie I Inferior o Intermedia y "Caracol" sobre Inferior o Intermedia, pero en ambos casos sobre los términos más bajos estratigráficos en el interior y hacia el mar sobre niveles cada vez más altos. En los cuchillos meridionales es frecuente la situación de la fig.13 A y Foto 6 en la que la Serie I Superior se apoya discordantemente sobre la Serie I Inferior en el interior, para pasar a hacerlo discordante, o aparentemente concordante, más hacia el mar y acabar rebosando a todas las Series y descolgándose al llegar a éste (fig. 13B y Foto 7). Entre el edificio Cardones y el edificio Caracol habría un cierto umbral de relieve, en la zona de Tarajalejo-La Lajita. En el NE es frecuente en cambio, que la Serie I Intermedia, a veces aparentemente concordante, se ve rebasada por la Serie I Superior que llega a apoyarse también hacia el mar en la Serie I Inferior.

Normalmente la Serie I Superior está formada por potentes coladas basálticas que dan relieves escarpados, pero también son frecuentes los términos litológicos más evolucionados. El espesor varía bastante según los cuchillos: en Cardones supera los 200 m, en Caracol los 300 m y en Pozo Negro también supera los 300 m.

Dentro de estas series existen algunos domos y sills, pero son muy escasos los diques. De hecho, la mayor parte de los diques que aparecen en el área quedan truncados en el contacto entre esta Serie y las infrayacentes. Salvo el edificio piroclástico que aparece en Cardones, no son frecuentes las acumulaciones piroclásticas que permitan localizar centros de emisión.

2.3.1.4.- Traquitas

En el Edificio Central existen en relación con la Serie I dos afloramientos traquíticos: los del Barranco de la Torre y Los Morros. No incluimos el afloramiento de Cañadas del Hoyo (Muñoz, 1969) porque, aún siendo en principio comparable, al no estar en contacto con la Serie I no sabemos en que serie podría ser incluido.

Barranco de la Torre

En el Castillejo, un cerro de 171 m de cota situado al ENE del vértice Agudo, existe un afloramiento de traquitas que da un relieve residual de pequeña extensión (Esnaola, 1984). Esta traquita debe estar lógicamente relacionada con un afloramiento muy próximo existente en la pared sur del Barranco de la Torre y que corresponde a un resto de colada con marcada disyunción. Su posición estratigráfica, atravesando la Serie I Intermedia o la Superior no es clara.

Los Morros Pozo Negro

El afloramiento traquítico de los Morros de Pozo Negro corresponde a un dique-domo (Muñoz, 1969; Cubas et al., 1989) inyectado a favor de una larga fractura de dirección NNW que se continúa más al sureste (zona de Morro Alto) en anchos diques también traquíticos de la misma dirección. Estas traquitas están atravesando materiales basálticos de la Serie I Inferior con abundantes diques. La roca está en conjunto afectada por una marcada disyunción, que en algunas zonas es columnar y en otras de tipo lajeado horizontal muy fino dando en ocasiones pliegues de flujo. Así mismo, se observan enclaves de la roca encajante en la zona de borde, algunos de gran tamaño.

Los diques traquíticos asociados atraviesan la Serie I Inferior y no la Superior. Su edad estaría entre ambas, final de la Serie I Inferior o en la Serie I Intermedia.

La composición análoga de las traquitas de uno y otro afloramiento (como analizaremos más adelante) y la posición de los diques sálicos, inducen a pensar que pertenecen ambas a la Serie I Intermedia.

2.3.1.5.- Formaciones Locales

Las Formaciones Locales no habían sido mencionadas hasta el trabajo de Ancochea et al. (1991) en el que distinguen cuatro Series o Formaciones que denominan Tardías: Melindruga, Tamacite, Tableros y Los Morros. Un estudio posterior más detallado nos ha llevado a excluir la última de estas series.

Se trata de unas series que extruyen cuando la Depresión Central que aparece en el centro del edificio ya se ha formado, siendo por ello post-depresión Central. El que se apoyen sobre las Series I Inferior e Intermedia indica que son posteriores a ella; sin embargo, sus relaciones con la Serie I Superior no son visibles y por tanto su cronología relativa es todavía en buena parte (excepto en el caso de la Formación Tableros) desconocida.

Corresponden a una actividad de menor importancia volumétrica como manifiesta su distribución irregular y local. Las erupciones recientes del Malpaís Grande y Chico pueden servir de ejemplo aproximado de lo que debieron ser estas unidades en cuanto a su distribución y significado estratigráfico. Sólo la formación Melindruga tiene mayor entidad.

La **Formación Melindruga** (Foto 9) es la más importante de las Formaciones Locales. Su zona de procedencia se sitúa en el Complejo Basal, donde la montaña del

mismo nombre constituye la zona de afloramiento más elevada topográficamente y por ello posiblemente la más próxima al área de emisión.

Es una serie de casi 150 m de espesor, formada por al menos siete potentes coladas con zonas escoriáceas intermedias que le dan a la serie un aspecto tabular característico. En la zona más próxima al centro de emisión se apoya sobre Complejo Basal que aparece entonces intensamente alterado y con una potente sucesión sedimentaria detrítica entre ambos. Más hacia el Sur se apoya sucesivamente sobre Serie I Inferior e Intermedia.

Desde la Montaña de Melindraga las coladas descienden hacia el Oeste y Suroeste hacia el Cantil y por los cerros que bordean por el Oeste el Barranco de Chilegua. Hacia el SE, desciende por el Morro de Morality y Morro de la Leña hacia Tesejerague por un profundo paleovalle escavado en el Complejo Basal y adosándose en la cabecera del actual valle de Tarajalejo. Por el Sur lo hace por Montaña Redonda, el Filo de Cuchillo Negro y el propio Cuchillo Negro, rellenando un valle que debía bordear Cardones, adosándose a él y descendiendo por el paleovalle que hoy baja hacia La Lajita. En otros barrancos como el de los Cuchillos aparecen coladas que posiblemente corresponden a esta misma unidad.

El afloramiento de Tesejerague permite apreciar que los materiales de Melindraga descendieron por un paleovalle que comunicaba el sector morfológico interior y la depresión central. La base de la unidad desciende de 500 a 200 m en 2.500 m de recorrido (pendiente 7% aproximadamente).

La **Formación Tamacite** se sitúa al Sur de Tuineje y en posición similar a la de Melindraga. El centro de emisión se localizaría en el límite entre la zona interna del Complejo Basal y la depresión central. En la Montaña de Tamacite se observa una posible colada de unos 25 m de espesor, subhorizontal en la parte oriental que en el borde suroriental desciende bruscamente (100 m en 300 m, equivalente a 18° de pendiente). Se extiende después por la zona de La Culata y Montaña Negra donde cubre un rellano situado a 200 m de altitud, llegando a chocar con las rocas traquíticas de Los Morros.

Los materiales de esta formación se apoyan siempre sobre el Complejo Basal del que están separados por depósitos sedimentarios, conglomerados o arcillas, recocidos por las coladas posteriores. Se distinguen dos coladas con segregaciones pegmatoides locales.

La **Formación de Los Tableros** constituye una unidad muy típica pues aparece en tableros discordantes y colgados en el extremo interior de los cuchillos del NE del Edificio Central. Se apoya sobre sedimentos encima de la Serie I Inferior o Intermedia, todos en la cabecera del valle de Pozo Negro (fig.13B y foto 6). Las coladas discurrieron por un valle de dirección NNW-SSE. Posiblemente su área de procedencia se sitúa más al sur e incluso puede ser alguna de las cimas de los cuchillos de ese sector. Está compuesta de varias coladas, las inferiores menos potentes y las superiores con un escarpe muy marcado. Su espesor supera los 40 m.

En otros sectores, en la depresión central, aparecen coladas que posiblemente corresponden a unidades de significado similar a éstas tardías o incluso pueden

correlacionarse con algunas de ellas. Tal es el caso, por ejemplo, de las coladas de basaltos olivínicos y plagioclásicos del Barranco de La Florida y Barranco Largo al Sur de dicha depresión, en los que la ausencia de diques denota su carácter tardío aunque composicional y geoméricamente son difíciles de correlacionar con alguna de las formaciones descritas.

2.3.2.- ESTRUCTURA

De la descripción que acabamos de hacer se observa que la complejidad estructural es mayor que en el Edificio Norte (o tal vez aquí puede apreciarse mejor) ya que en el anterior edificio sólo se podía analizar la estructura del Edificio Norte Superior. En éste edificio las discordancias angulares son frecuentes y visibles, como ya indicaron Fúster et al. (1968).

Mientras que en el Edificio Norte la mayor parte de los cuchillos tenía una estructura sencilla, formados casi exclusivamente por la Serie I Superior, aquí en muchos de ellos afloran las tres series y no siempre de forma similar (fig.13). Por otro lado, en este caso las series tienen todas un buzamiento radial hacia el mar, con lo que la hipótesis de una serie horizontal basculada carece de apoyo.

La Serie I Inferior buza siempre hacia el mar y con una inclinación bastante constante e importante: 20° como media, pero en algunos sectores (Sur del edificio) el buzamiento es próximo a los 30° y puntualmente alcanza los 45°. La Serie I Intermedia, discordante sobre la anterior, buza en el mismo sentido pero sólo de 10° a 20°. La Serie I Superior buza aún menos, en general unos 5° - 6°, aunque hacia el mar puede adquirir mayor inclinación (fig.13).

2.3.3.- CRITERIOS MORFOLÓGICOS PARA LA RECONSTRUCCIÓN DEL EDIFICIO

La reconstrucción del Edificio (o de los Edificios) Central puede basarse en el estudio de la morfología actual de forma análoga a lo hecho en el Edificio Norte. De nuevo son los cuchillos los que mayor información nos proporcionan. Aquí son una docena de ellos los que dibujan claramente un semicírculo (fig.14). Con respecto a los del Edificio Norte están mucho más degradados no existiendo, como sucedía en aquél, un escarpe en la parte interior que una varios cuchillos; estaríamos en el caso C de la fig.5.

En el NE del Edificio, el cuchillo del Morro de Los Halcones y la Montaña de la Goma, siguen una dirección transversal a la de los cuchillos "normales" y es posible que reflejen la zona de cabecera. Justamente es en el sector deprimido que separa estos cuchillos y los radiales adyacentes por donde corrió la serie tardía de Los Tableros que hoy día aparece colgada.

La reconstrucción no es ahora tan sencilla pues, como hemos visto, la estructura de cada uno de ellos es compleja. Aún así, si aplicamos el mismo sistema que el Edificio Norte, vemos que las cotas de 200 m de altitud de la cresta de los cuchillo pueden

ajustarse a grandes rasgos a un círculo con centro hacia la zona de Toto (fig. 15). Algo similar sucede, con el mismo centro para los puntos de 400 m.

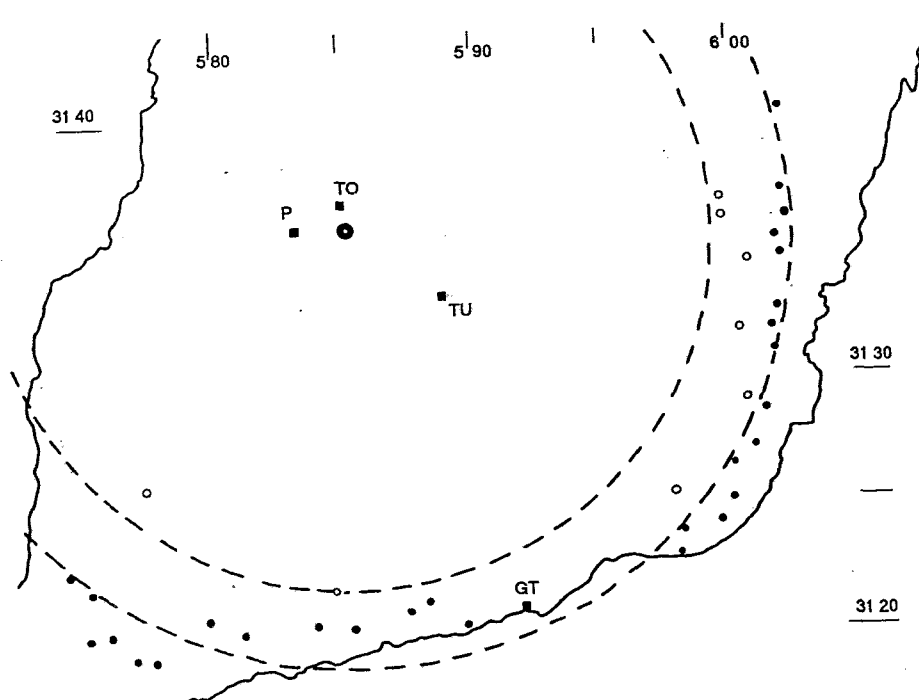


Figura 15.- Esquema de reconstrucción del Edificio Central. Círculos negros: puntos de las crestas de los cuchillos situados a 200 m de altura. Círculos blancos: puntos de las crestas de los cuchillos situados a 400 m. Estrella: posible centro "morfológico" del edificio. Las curvas indican las curvas de nivel mínimas teóricas del antiguo edificio y permiten aproximarnos a la morfología del mismo. P.- Pájara, TO.- Toto, TU.- Tuineje, GT.- Gran Tarajal.

Las crestas de los cuchillos convergen hacia el mismo punto, indicando que nos encontramos de nuevo ante un edificio circular. Sin embargo, mientras que en el Edificio Norte el edificio que condiciona la morfología es el Superior, aquí la estructura y los diques (que analizaremos más adelante) señalan la presencia de un edificio circular centrado en un lugar similar pero durante la emisión de las Series I Inferior e Intermedia.

Dentro de los aspectos morfológicos de este edificio, es de destacar que, en la zona entre Gran Tarajal y La Entallada, los cuchillos son mucho más bajos e irregulares, en ellos no existe Serie I Superior y los valles que separan los cuchillos son mucho mayores, siendo este área la principal zona posiblemente la única, donde existió comunicación entre la depresión central y el mar.

2.3.4.- LOS SISTEMAS FILONIANOS

Los diques de la zona de la Entallada - Gran Tarajal son por su longitud y densidad muy espectaculares. Por ello todos los autores han mencionado y comentado su existencia (Fúster et al., 1968, López Ruiz, 1970, Feraud, 1981). Algo similar sucede con los situados en el extremo suroccidental del edificio. Los diques de dirección aproximada NW-SE en Gran Tarajal, los diques NE-SW de las proximidades del istmo y los del Complejo Basal (N 10°-30° E), dibujarían a grandes rasgos una pauta triple.

Sin desechar totalmente esta posible pauta, el enjambre parece responder más bien (o además) a una distribución radial. Por otro lado los diques del Complejo Basal

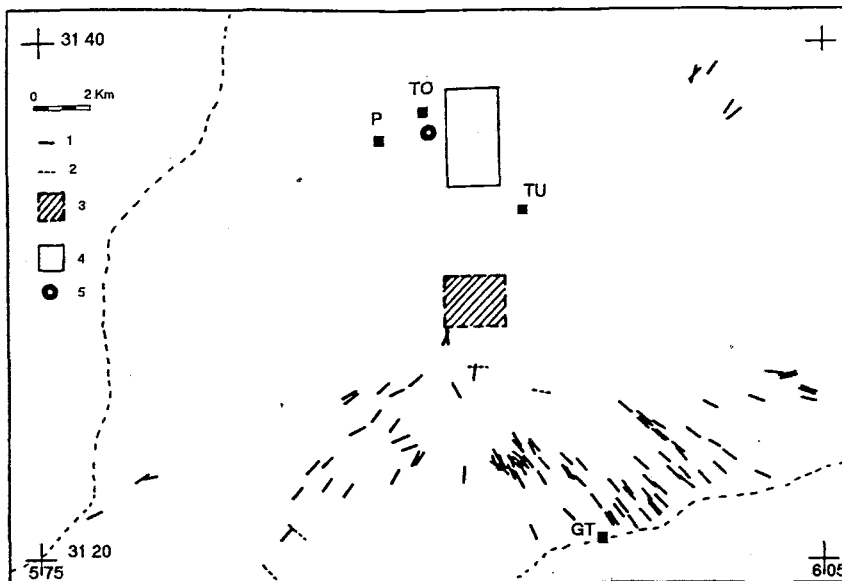


Figura 16.- Diques del Edificio Central pertenecientes al Foco Sur. 1.- Diques del Foco Sur. 2.- Diques no justificados ni con el Foco Sur ni con el Norte o que atraviesan la Serie I Superior. 3.- Área de convergencia calculada, para el Foco Sur. 4.- Área de convergencia calculada para el Foco Norte. 5.- Posición del centro "morfológico" de la figura 15. P.- Pájara, TO.- Toto, TU.- Tuineje, GT.- Gran Tarajal.

son de otra edad y por ello no deben ser comparados en su totalidad sin hacer un estudio detallado.

Hemos medido aproximadamente 1000 diques que se reflejan en 205 estaciones de medidas medias. La mayor parte han sido realizadas en el campo y otras (los diques mayores) en foto aérea.

En primer lugar se aprecia que los diques son muy frecuentes no sólo en el SW y SE sino en todo el Sur y Este del Edificio. En concreto, en la zona Sur entre Gran Tarajal y Tarajalejo la densidad de diques es tan grande como en esos dos sectores (uno cada 5 m aproximadamente). Hacia el NE, en cambio, son menos frecuentes. En segundo lugar, los diques atraviesan sobre todo la Serie I Inferior y, en menor grado,

la Intermedia, estando prácticamente ausentes en la Superior y en las Formaciones Locales.

El que en la zona de Gran Tarajal y ángulo SW del Edificio no haya Serie I Superior y sea escasa la Serie I Intermedia hace, que al aflorar sólo la Serie I Inferior, parezca que hay más diques cuando simplemente lo que sucede es que no están cubiertos. Los diques son en su gran mayoría basálticos, de análogas características a las de las rocas que atraviesan, aunque también hay algunos nefeliníticos (Barrera com.pers.).

La tercera característica es que en todos los puntos puede apreciarse que existen intersecciones frecuentes de diques, pero con ángulos muy parecidos, con unas diferencias de unos 20° . Esta pequeña diferencia hace que no se vea muy bien cual corta a cual y que muchas veces al alcanzar los diques de un sistema a los del otro "choquen" contra él y sigan después paralelos. En conjunto todos convergen hacia el mismo sector que lo hacen los cuchillos. Sin embargo, si analizamos una a una las medidas, vemos que para cada par de puntos, la unión entre unas medidas tiene sentido y la otra no. Lo mismo sucede al aplicar el programa de cálculo antes descrito, en el que en lugar de un máximo se dibuja una zona alargada. Podemos entonces separar los diques en dos grupos; ambos convergen en una zona similar pero unos lo hacen en un sector situado más al Norte que el otro. Los hemos denominado foco Norte y foco Sur.

Los diques del foco Sur (fig.16) convergen en un área situada entre las coordenadas UTM 3129 y 3131 de latitud y 590,5 y 592,8 de longitud unos 3 km al SW de Tuineje. Los del foco Norte (fig.17) convergen algo más al Norte en el sector situado entre Toto y Tuineje, en el área entre las coordenadas UTM 3134,3 y 3138 de latitud y los 590,5 y 592,5 de longitud, es decir, situado prácticamente en línea N-S con el Centro anterior. El centro calculado a partir de la morfología se situaba próximo a este foco Norte (3136,5 - 590 UTM).

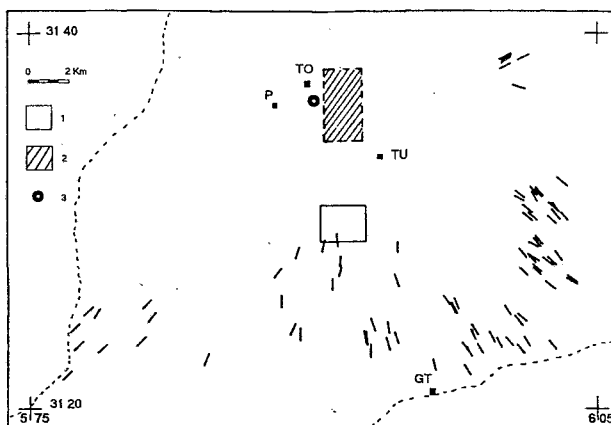


Figura 17.- Diques del Edificio Central pertenecientes al Centro Norte. 1.- Área calculada de convergencia para el Foco Sur. 2.- Área calculada de convergencia para el Foco Norte. 3.- Posición del centro "morfológico" de la figura 15. P.- Pájara, TO.- Toto, TU.- Tuineje, GT.- Gran Tarajal.

2.3.5.- BATIMETRÍA

El paso del Edificio Norte al Central se refleja claramente en la batimetría. En la costa oriental, en el Edificio Norte, la isobata de 100 m de profundidad se sitúa a 1 km de la costa y la de 500 m a 2 km. Llegando a la Caleta de Fuste, justo en la zona donde se juntan los dos edificios, esas curvas empiezan a separarse de la costa (fig.11): el fondo marino baja mucho más lentamente, la curva de 100 m se sitúa a 5 - 6 km de la costa y enseguida desciende bruscamente (a 7 km aproximadamente) hasta 500 m.

Una vez que la costa gira hacia el Oeste la isobata de 100 m se mantiene a unos 3 - 4 km de la misma hasta alcanzar el Istmo de La Pared. Esta diferencia con respecto al Edificio Norte indica que el Edificio Central penetró más en el mar (actual). De hecho los cuchillos del Edificio Norte se acaban antes de llegar a la costa, mientras que los de este edificio han penetrado en él y la erosión ha ido retrocediendo la línea de costa, generando una costa acantilada.

Si comparamos la isobata de 200 m de las figuras 6 y 15 comprobamos que a diferencia de lo que ocurre en el Edificio Norte, en este edificio la curva penetra en el mar, y el recorrido de la que podría corresponder a los 0 m, es casi siempre por el mar. La isobata de 100 m parece ser la que refleja más correctamente la forma de los edificios.

El mayor retroceso de la costa oriental en el edificio Central respecto a la del Edificio Norte, podría indicar su mayor antigüedad.

El fondo marino occidental vuelve a ser como, en el Edificio Norte, más plano. La isobata de 100 m se alcanza a 9 - 10 km de la costa. Esto estaría de acuerdo con un edificio circular centrado en la zona de intersección de diques, es decir, hacia el Oeste con respecto a la parte emergida de la isla pero más centrado con respecto a la batimetría. En el corte 2 de la fig.12 se aprecia la estructura submarina de este sector de la isla, quedando claros los comentarios que acabamos de hacer. Las zonas salientes que se observan en batimetría al SE y NW del edificio, tienen peor explicación y posiblemente son debidas a otros factores distintos a los de la forma del edificio circular.

2.3.6.- DIMENSIONES

A partir de todos los datos anteriores hemos intentado reconstruir las dimensiones del edificio en su conjunto. Si consideramos el edificio desde la isobata de 100 m, tendría unos 42 km de diámetro. Por otro lado, si consideramos sólo la parte emergida, (la Sur y la Oriental) el radio del semicírculo de la fig.15 es de 20 km hasta el mar y de 21 km hasta la que indicamos como posible curva de 0 m en ese momento. Las dimensiones pues parecen coincidentes.

La altura podemos calcularla como hicimos en el Edificio Norte. Partiendo de la cota de 200 m en la cresta (pues las zonas más bajas pueden haber retrocedido mucho por la erosión marina), tomando como centro el de la fig.15 y como pendiente mínima

la de la línea que une el punto de 200 m de la cresta de cada cuchillo con la altura máxima del cuchillo, tendríamos las siguientes alturas mínimas del edificio:

Agudo: 2.855m; Pozo Negro: 4.400m; Peñón: 3.300m; Marisma: 2.700m;
Morro Negro: 2.150m; Caracol: 2.480m; Gatos: 2.800m; Cardones: 2.625m;
Areguía: 4.050m.

Alturas siempre superiores a 2.100m y que podrían superar los 4.000m.

Para una pendiente constante, con un radio de 21 km a la altura del nivel del mar, la altura para cada pendiente sería: 5° - 1.840m, 7° - 2.580m y 9° - 3.330m. Así pues, el edificio parece que, como mínimo, superó los 2.000m.

Las alturas así calculadas corresponderían a un edificio "medio", siendo imposible conocer las diferencias entre el posible Edificio Central Inferior, Intermedio y Superior. Al menos en el caso de los dos primeros en que su área de afloramiento es similar, indicaría, para pendientes análogas, alturas también parecidas.

Javoy et al. (1986) calculan a partir de isótopos de oxígeno e hidrógeno, comparando con aguas de similar latitud como las de Tenerife, que debió de existir un edificio de altura similar a la del actual Tenerife, entre 2500 y 4000m de altura. Estos datos concuerdan plenamente con lo calculado por nosotros.

2.4.- EDIFICIO SUR O EDIFICIO JANDÍA: DEFINICIÓN Y CARACTERÍSTICAS

El Edificio Sur o Edificio Jandía ocupa la península del mismo nombre y está separado del resto del Edificio Central por el Istmo de la Pared y El Jable: sector de escasa altura (< 200 m) cubierto por arenas eólicas y caliches. Todos los materiales volcánicos de la península de Jandía pertenecen a la Serie I.

La costa meridional está definida por dos líneas: una al Este con dirección N 45° E y otra al Oeste con dirección N 75° W, es decir, formando un ángulo de 120°. Esta estructura está más desdibujada en la costa septentrional siendo ésta de todas formas notablemente rectilínea, sobre todo en su parte oriental, hacia el istmo, donde sigue una dirección N 50° E.

Morfológicamente podemos hablar de tres zonas. La más oriental, la de El Jable, es una zona baja, que en el sector más próximo al Istmo de la Pared se sitúa entre los 50 y 100 m de altura, para ir adquiriendo progresivamente más altura y alcanzar en algunos puntos más occidentales los 250 m. La pendiente general es hacia el Sur y perpendicular a la costa Norte. El que esté cubierta por arenas eólicas y caliches impide ver el substrato que sólo aflora en algunas zonas de la costa y en los cerros más altos. Está compuesto siempre por materiales de la Serie I, pudiéndose en foto aérea seguir el trazado de algunos diques.

La segunda zona, la central, tiene una estructura en cuchillos radiales que marcan un semicírculo y se unen por el Norte dando un escarpe cóncavo hacia el Norte que alcanza en el Pico de la Zarza los 807 m, la mayor altura de la isla.

La tercera, de menor entidad, en el extremo Oeste y Suroeste de la península, es un rasa situada a menos de 20 m y cubierta por caliche, en la que sólo se ven afloramientos en el acantilado costero y el trazado de los diques, más resistentes a la erosión.

2.4.1.- VOLCANOESTRATIGRAFÍA

En Jandía, dentro de la Serie I, hay tres series claramente diferenciadas que corresponden con tres edificios: Sur Inferior, Sur Intermedio y Sur Superior. Puede hablarse de una cuarta serie, la Tardía (Cubas et al.1992) peor definida y que hemos denominado, por su lugar de afloramiento, formación La Angostura. Fúster et al. (1968) distinguen en la Serie I de Jandía también tres niveles (Inferior, Medio y Superior) separados por discordancias erosivas. Esta división corresponde, aunque sólo a grandes rasgos, con la realizada por nosotros. Sin embargo, correlacionan los tres niveles con el "tramo alto" de la Serie I (fig.2) lo que, como veremos, no es correcto.

En el nivel inferior predominan los materiales piroclásticos, el nivel medio está compuesto por una alternancia de coladas y escorias, con menos diques que el nivel anterior y el nivel superior son coladas compactas de varios metros de espesor y aún con menos diques.

2.4.1.1.- Edificio Sur Inferior

Fúster et al. (1968) sitúan el nivel inferior de Jandía exclusivamente en una banda a lo largo de toda la costa septentrional de la península, constituyendo o el acantilado o la base de la Pared del escarpe. Sin embargo, su extensión de afloramiento es muy superior: aparece en "ventanas" en los fondos de barrancos o dispersa en distintos sectores, fundamentalmente en la Degollada de Mungía, Aguda (de Butihondo) y Degollada del Moro, donde alcanza alturas importantes (400, 250 y 300m respectivamente).

Constituye además el substrato cubierto por las arenas de El Jable, salvo en el caso de algunos cerros más altos al suroeste del mismo (Loma Negra, Montañeta de Verodes, Montañeta Pelada y El Paso). Es justamente en el sector de El Jable por la costa Norte, donde enlaza con el Edificio Central y más concretamente con el Edificio Central Inferior del mismo, sin que pueda marcarse en este sector, dónde empieza uno y dónde acaba el otro.

Una de las características de los materiales de esta serie es la abundancia de materiales piroclásticos con buzamientos variados y continuidad escasa (Foto 10). Es el único edificio donde sucede esto, contrariamente a lo señalado por autores anteriores, que suponían que era un hecho común en toda la isla. En general son piroclastos hidromagmáticos lo que, unido a su posición, parece indicar que corresponde a la emersión de la isla y que en ese momento existirían numerosos centros independientes de entidad menor.

En la Serie I Inferior también deben incluirse los materiales que afloran en "ventanas" erosivas en algunos barrancos (fig.18-2 y 3) y, posiblemente, los relieves de Aguda y Mungía-Siete Fuentes (fig.18-4 y 6. Foto 11). Estos sectores se caracterizan por estar atravesados por varios sistemas de diques frente a uno único o a ningún sistema que atraviesan las rocas adyacentes. En Aguda, encima de los piroclastos, aparecen 50 m de coladas basálticas pahoehoe, en general picríticas. En Mungía, el espesor de las coladas es del orden de 200 m siendo con mucha frecuencia ankaramitas. En el Barranco de Juan Gómez dentro de esta serie aparecen aglomerados de tipo debris-flow que recuerdan a los de la Formación Ampuyenta. La correlación con aquellos a esta distancia parece muy arriesgada, aunque tal vez posible.

En este Edificio aparecen materiales traquíticos (Muñoz,1969, Cubas et al., 1989) en tres sectores: islote de Cofete, Roque del Moro y Montaña Azufrá.

Islote de Cofete

Es un afloramiento de forma redondeada, situado en la costa, sin ninguna relación visible con las rocas encajantes, ya que está separado de los materiales de la Serie I por las arenas de la playa de Barlovento. Su relieve está modificado por la erosión marina que ha producido un arrasamiento de la parte superior. Por estas razones los autores que citan este afloramiento hablan de él como de un domo, sin hacer más precisiones.

En su morfología únicamente es destacable la presencia de una marcada disyunción con inclinación hacia el Oeste y otra, menos marcada, según planos horizontales. Cubas et al. (1989) relacionan con este domo un nivel de tobas sálicas, de unos 40 m de espesor, situado más al Este, que se encuentra intercalado entre los materiales basálticos de la Serie I Inferior.

Roque del Moro

Unos 300 m al Este del Roque del Moro, en la playa de Cofete, existe un pequeño domo sálico que intruye en basaltos muy atravesados por diques pertenecientes al Edificio Sur Inferior. Este afloramiento está parcialmente cubierto por dunas antiguas, muy erosionado y la roca que lo forma aparece en conjunto bastante alterada de manera semejante a la traquita de Montaña Tiñdaya. Esto hace pensar a Cubas et al. (1989) que se trata de la parte interna de un domo originalmente de mayor tamaño, en la actualidad muy denudado.

Montaña Azufrá

El afloramiento al que Cubas et al. (1989) dan esta denominación es llamado por Muñoz (1969) como de la Degollada de Agua Cabras. Los primeros autores lo describen como un cúmulo-domo de crecimiento endógeno en forma de media luna, con un lajeado de la roca extremadamente desarrollado.

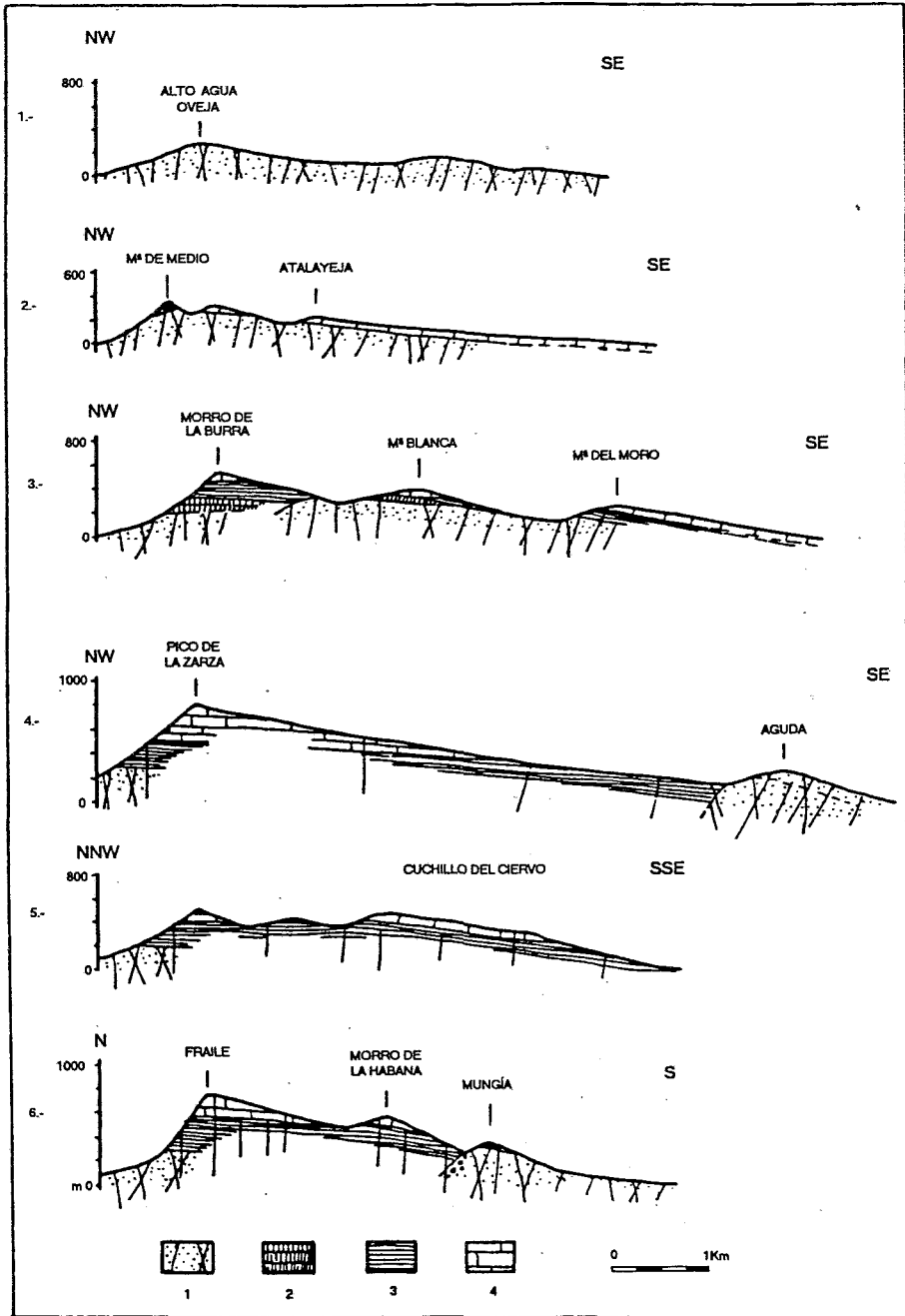
Al Este del afloramiento existe un nivel de tobas sálicas de unos 15 m de espesor, interestratificados entre materiales basálticos de la Serie I Inferior y los de la Intermedia. Dada la proximidad de ambos (unos 300 m) y su semejanza composicional, parece lógico el considerarlos como pertenecientes a un mismo episodio. A los diques y domos traquíticos no se les ve truncados en el contacto con la serie suprayacente, pero tampoco la atraviesan nunca; lo que, unido a que las únicas tobas sálicas del área aparecen intercaladas en esta serie, hace pensar que pertenecen a la Serie I Inferior.

Estas tobas aparecen tanto al Este (Agua Melianez) como al Oeste (Montaña Azufrá) representando el último nivel de la Serie I Inferior. En algunos casos las tobas están cubiertas en discordancia por las series posteriores, pero además están discordantes sobre las infrayacentes. Por otra parte, dentro de los diques que atraviesan sólo a la Serie I Inferior, los hay que atraviesan las tobas y también los hay que están truncados por dichas tobas.

Estas relaciones, en resumen, indican que el Edificio Sur Inferior en el Norte de la Península de Jandía concluyó con un episodio sálico, pero además que antes hubo un período de erosión - arrasamiento importante y de duración desconocida. Es posible entonces que un estudio más detallado de esta serie pueda demostrar que nos encontramos ante más de un ciclo volcánico.

2.4.1.2.- Edificio Sur Intermedio

Se apoya discordante sobre los materiales del Edificio Sur Inferior, siendo su contacto con la Serie I Superior unas veces discordante y otras aparentemente concordante. En este último caso su separación es imprecisa.



© Del documento, los autores. Digitalización realizada por ULPGC. Biblioteca Universitaria, 2006

Figura 18.- Cortes geológicos del Edificio Sur. Cortes radiales sucesivos de Este a Oeste. 1.- Serie Inferior. 2.- Serie I Intermedia: tramo bajo. 3.- Serie I Intermedia: tramo alto.- 4.- Serie I Superior.

Sus materiales rellenan el paleorelieve desarrollado sobre el Edificio Sur Inferior por lo que su distribución, espesor y estructura es muy variable (fig.18). Aparece siempre o subhorizontal o con buzamientos, a veces acusados, al Sur.

En algunos sectores, especialmente en el Norte, pueden distinguirse dos tramos concordantes. El tramo Bajo está formado por gruesas coladas de basaltos olivínico-piroxénicos frecuentemente con piroclastos intercalados y desarrollo de almagres. Su espesor alcanza los 200m.

El tramo Alto es el que aflora en la mayor parte de las ocasiones (Foto 12). Está formado por coladas finas, muchas veces pahoehe, con un espesor variable que supera en muchos casos los 200 m. Normalmente son basaltos olivínico-piroxénicos con algunos traquibasaltos. En este tramo son numerosas las intercalaciones piroclásticas y conos enterrados (habitualmente estrombolianos) y también los sills basálticos.

2.4.1.3.- Edificio Sur Superior

Se apoya discordante sobre cualquiera de las Series anteriores (Foto 12). Su área de aparición es muy similar del Edificio Sur Intermedio, aunque se extiende más que él hacia el Este y menos hacia el Oeste. Constituye la parte fundamental del escarpe de Jandía, dando las áreas más elevadas. Su buzamiento, más ligero que el de la Serie I Intermedia, es divergente y hacia el Sur (de SE a SW). Es realmente la serie que condiciona los rasgos fundamentales de la morfología de Jandía.

Su espesor supera los 350 m, estando compuesta de coladas potentes de ankaramitas, basaltos olivínico-piroxénicos y en menor proporción traquibasaltos y traquiandesitas. El pitón del Cuchillo del Palo y diques asociados de naturaleza traquítica, que atraviesan la serie, son el único indicio claro de actividad sálica tardía en esta serie.

Atravesando los materiales de este Edificio y posiblemente en relación con ellos, aparecen las traquitas del Cuchillo del Palo (Foto 13). Muñoz (1968) cita este afloramiento como un dique. Cubas et al. (1989) lo estudian más detalladamente describiéndolo como un domo cuyo conducto de alimentación a modo de gran dique vertical queda casi enteramente expuesto por la erosión. La dirección del dique varía de 10°E a 30°E y su espesor de 3 a 5,5 m hasta acuñarse lateralmente y desaparecer. En la parte apical de este dique se produce un ensanchamiento domático local, llegando a desbordar las traquitas y a apoyarse sobre los basaltos a los que atraviesan (Serie I Superior). En esta zona domática se observa una cierta disyunción en abanico y, por las relaciones con la roca encajante, los autores anteriormente citados lo consideran un cúmulo-domo de crecimiento endógeno.

2.4.1.4.- Formación La Angostura

El extremo occidental de la Península de Jandía es diferente al resto de ella, en primer lugar morfológicamente, pero también geológicamente. Desde Talahijas hacia el Oeste y Noroeste los materiales existentes parecen mucho más recientes, sin diques

que los atravesara, normalmente basaltos e incluso en la zona de El Cotillo, nefelinitas olivínicas. Se trata por tanto de una unidad composicionalmente diferente, más alcalina que las anteriores y de edad, al no estar atravesada por los diques, en principio más reciente.

2.4.2.- ESTRUCTURA

La estructura de la Serie I Inferior es muy compleja. En buena parte, como ya indicamos, son depósitos hidromagmáticos con buzamientos dispersos indicando que posiblemente se trata de varios y diferentes centros. Pero además parece que abarca más de un ciclo completo, con discordancias internas y probablemente se trata de una unidad en la que estamos englobando varias series distintas.

El corte en el Este de la pared, en el que aparecen tobas traquíticas apoyadas sobre una superficie que buza al Norte y que trunca un importante sistema filoniano, indica la existencia de un período destructivo, aunque no tiene por qué haber sido temporalmente prolongado. El que a su vez vuelvan a estar atravesados de diques que no cortan la Serie I Intermedia suprayacente sugiere de nuevo una historia compleja.

La superficie sobre la que se apoya la Serie I Intermedia es, al contrario de lo que sucedía con las mismas series en el Edificio Central, un notabilísimo paleorelieve. En Mungía nos encontramos con potentes brechas (fig.18-6) que han debido formarse por la destrucción del Edificio Sur Inferior (Fotos 10 y 11). En Juan Gómez se trata de una brecha de tipo "Ampuyenta".

Es de destacar además que la Serie I Intermedia, en especial en la parte oriental, está fosilizando una antigua depresión tal vez similar a la pared actual. En la figura 18-2 se aprecia como el tramo bajo de la Serie I Intermedia está fosilizando una fuerte pendiente que buza hacia el Norte. La posición horizontal de las coladas indica que se estaba rellenando una depresión. En la figura 18-3 se aprecia que en el Morro de la Burra sucede lo mismo, de forma que el tramo bajo de la Serie I Intermedia raramente llega a superar esa depresión y es el tramo alto el que la supera y descuelga hacia el Sur, chocando en Aguda y Mungía con otros paleorelieves. Todo ello indica la existencia para la Serie I Intermedia de un área de emisión al Norte de la actual pared.

La Serie I Inferior está con frecuencia muy fracturada y es posible que esto sea en parte la causa de la existencia de un relieve compartimentado.

La Serie I Intermedia, una vez superado el relieve antes mencionado, buza radialmente, tal como indica la pendiente de los cuchillos.

La Serie I Superior está a veces aparentemente concordante y otras algo discordante, pero buza siempre radialmente de SE a S y SW. En Montaña Blanca (Foto 12 y fig.18-3) la Serie I Intermedia buza más que la Serie I Superior. En cualquier caso la discordancia es de entidad menor y no debe reflejar grandes cambios en la historia del edificio, lo contrario que en el paso Serie I Inferior a Intermedia.



Foto 10.- Edificio Sur Inferior, esencialmente piroclástico, atravesado por varios sistemas de diques. Cerca del Roque del Morro (zona Oeste).



Foto 12.- Edificio Sur. Discordancia ligera entre el Edificio Sur Intermedio (M) y el Superior (S) en Montaña Blanca.



Foto 11.- Edificio Sur. Contacto entre los materiales del Edificio Sur Inferior y los suprayacentes en Siete Fuentes (vista desde el SW). Entre los Inferiores e Intermedios-Superiores (líneas azules) aparece un potente nivel de Brechas (entre las líneas rojas) buzando al Norte (líneas negras). Algunos diques chocan contra la brecha mientras que otros (los menos) continúan. Se corresponde con el corte 6 de la fig. 18.



Foto 13.- Edificio Sur Superior. Traquita Del Cuchillo de Palo (T) atravesando coladas basálticas del mismo edificio.

2.4.3.- CRITERIOS MORFOLÓGICOS PARA LA RECONSTRUCCIÓN DE LOS EDIFICIOS

De nuevo son los cuchillos los que nos proporcionan información sobre la antigua morfología de los Edificios. Lógicamente se trata de los edificios Sur Intermedio y el Superior que son los que constituyen en su mayoría estos cuchillos.

Aquí los cuchillos no llegan a cortar la pared que los une por el Norte (fig.19). Razonablemente las cotas más altas (Pico de Jandía: 807 m ó El Fraile: 683 m) estarán más próximas del teórico edificio circular. Los cuchillos no abarcan toda la península pues no alcanzan todo el sector de El Jable donde sólo hay Serie I Inferior y pierden mucha altura hacia su extremo occidental.

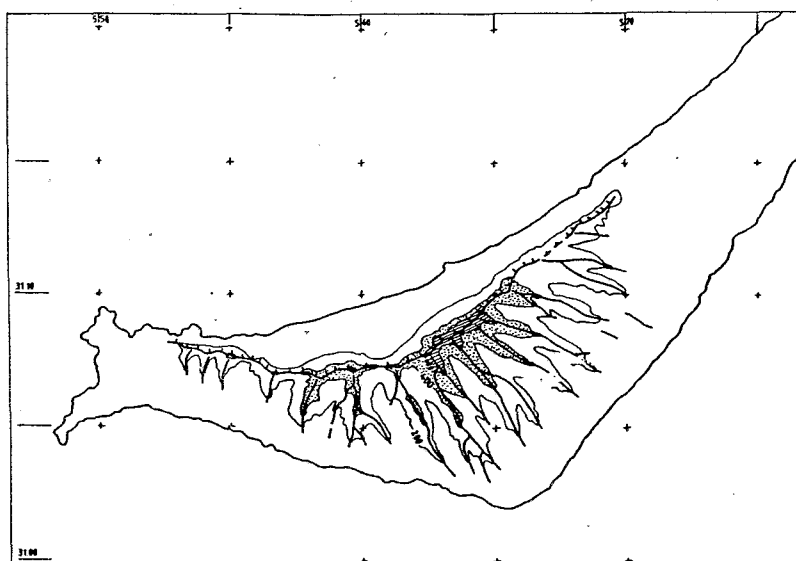


Figura 19.- Esquema morfológico del Edificio Sur. Curvas de nivel de 200, 400 y 600 m. Punteado: área entre 400 y 600 m. Rayado: área de más de 600 m. Se indica además la traza de la cresta de los cuchillos y el escarpe de la pared septentrional.

Con el mismo procedimiento que en los otros edificios podemos trazar, a partir de las cotas de las crestas, las curvas que unen los puntos de 400 y 600m y comprobar su estructura circular con un centro que se situaría en el mar (fig.20). La curva de 200 m no se ajusta bien, en parte, como hemos dicho, porque los materiales de este edificio no llegaron a El Jable y en parte también por la existencia de ese paleorelieve post-Edificio Sur Inferior, que lógicamente influye más en las zonas de bajas cotas que no han podido ser cubiertas totalmente por los depósitos posteriores.

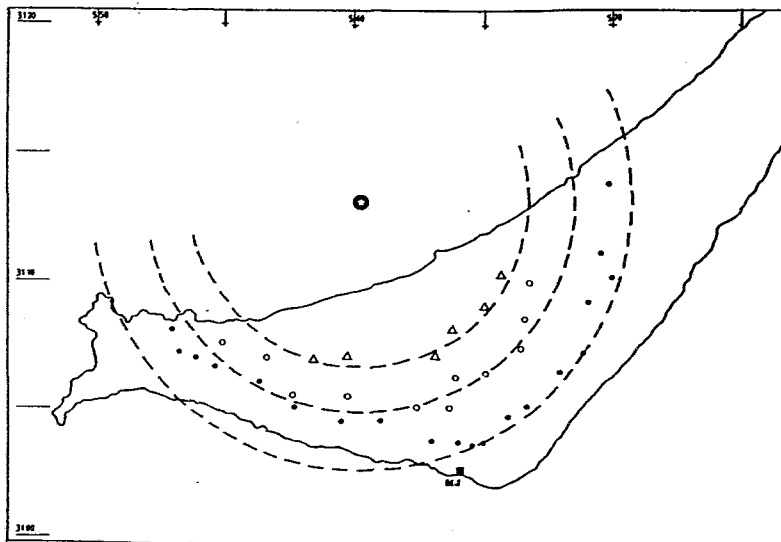


Figura 20.- Esquema de reconstrucción del Edificio Sur. Círculos negros: puntos de la cresta de los cuchillos de 200 m de altura. Círculos blancos: puntos de la cresta de los cuchillos de 400 m. Triángulos: puntos de la cresta de los cuchillos de 600 m. Estrella: posible centro "morfológico" del edificio. Las curvas indican las curvas de nivel mínimas teóricas del antiguo edificio y permiten aproximarnos a su morfología. M.J.: Morro Jable.

2.4.4.- LOS SISTEMAS FILONIANOS

Fúster et al. (1968) señalan que en Jandía las direcciones de los diques son variadas, en el N dominan las NE y ENE paralelas a la costa y en el sector meridional hay dos direcciones cruzadas NNE y WNW. López Ruiz (1970) destaca que en Jandía aparece la misma dirección que en Gran Tarajal (NW-SE) junto con la NE-SW.

Lógicamente la interpretación varía si analizamos los diques según la serie que atraviesan. Hemos tenido en cuenta más de 1.000 diques integrándolos en 246 medidas medias. El esquema de tratamiento es similar al del Edificio Norte, empezando por analizar aquellos más seguros, los más recientes.

2.4.4.1.- El enjambre de diques de los Edificios Sur Intermedio y Superior

Los diques que atraviesan estos dos Edificios parecen ser los mismos. Realmente suelen atravesar a los materiales del Edificio Sur Intermedio y sólo algunos al Superior. Es éste un motivo por el cual, al extenderse más hacia el Oeste el Edificio Sur Superior, se ven menos diques hacia esa zona (fig.21).

La pauta que puede distinguirse es una pauta radial incompleta, desde N 130°E girando al Oeste hasta N 240° E (unos 110°). Aún siendo una pauta radial, si parece cierto en este caso que hay dos direcciones dominantes N 135°-155°E y N 230°-240°E

que posiblemente formen una pauta triple de mayor densidad dentro de la distribución radial.

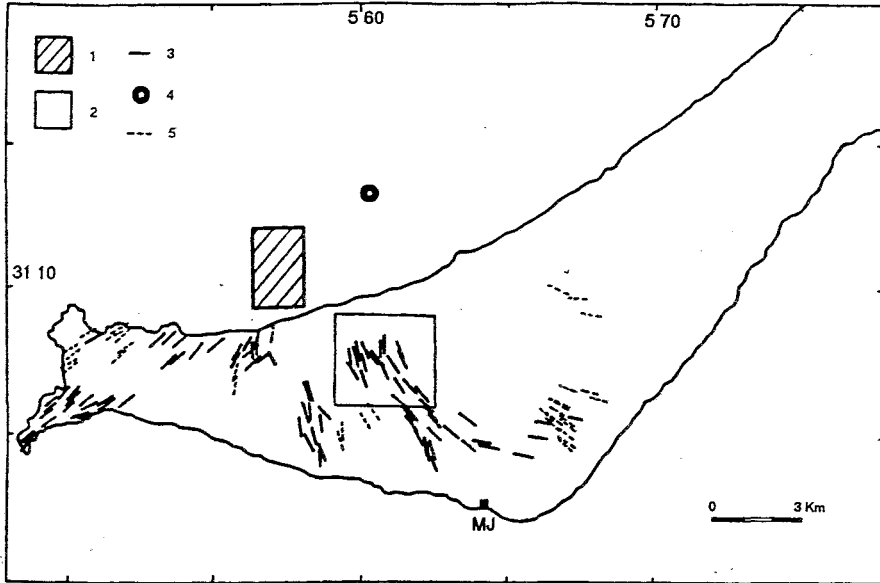


Figura 21.- Diques del Edificio Sur pertenecientes a la Serie I Intermedia o Superior. 1.- Área de convergencia calculada para estos diques. 2.- Área de convergencia calculada para diques de la Serie I Inferior. 3.- Diques que atraviesan la Serie I Intermedia o Superior. 4.- Posición del centro morfológico. 5.- Diques que atraviesan la Serie I Inferior, pero que pueden interpretarse como del sistema de diques posteriores. M.J.- Morro Jable.

El punto de convergencia se sitúa en el mar. El área calculada matemáticamente es el polígono de coordenadas UTM 3109,3 y 3112 de latitud y 556,4 y 558,2 de longitud (fig.21), algo más al Oeste que el punto extrapolado a partir de la morfología. Ello puede estar en relación con ese desplazamiento hacia el Este de los materiales del Edificio Sur Superior con respecto al Intermedio, de forma que los diques (más relacionados con el Edificio Sur Intermedio) señalan un foco algo más al Oeste y la morfología (más relacionada con el edificio más joven) se sitúa más al Este.

2.4.4.2.- Los diques del Edificio Sur Inferior

La densidad de diques en esta serie es muy notable siendo con frecuencia del orden del 10% de la roca. En el NE, son paralelos a la costa (N 50-60°) y enlazan, pues tienen las mismas direcciones, con los del Edificio Central Inferior, sin embargo esto ya no es así cuando vamos a la costa NW, donde las direcciones son más confusas, aunque siempre se caracterizan por presentar más de una dirección.

Lo mismo sucede en los relieves de Serie I Inferior alejados de esa costa N. En ellos parte de los diques van a ser los del edificio que corresponde a las series Intermedia- Superior, por lo que con un método análogo al del Edificio Norte, podemos suprimir los que pueden justificarse mediante ese foco y dejar sólo los restantes

(fig.22). De esta forma los diques que pueden interpretarse como del Edificio Sur Inferior convergen en un sector cuyos límites calculados serían aproximadamente 3106 y 3109 de latitud y 559.6 y 562.5 de longitud (fig.22). Este punto estaría situado en el sector central dentro de la península de Jandía, en la zona de máximas alturas topográficas.

No es de descartar que dentro de la complejidad ya citada de la Serie I Inferior, si hay más de una Serie, pueda haber dentro de ella más de un enjambre.

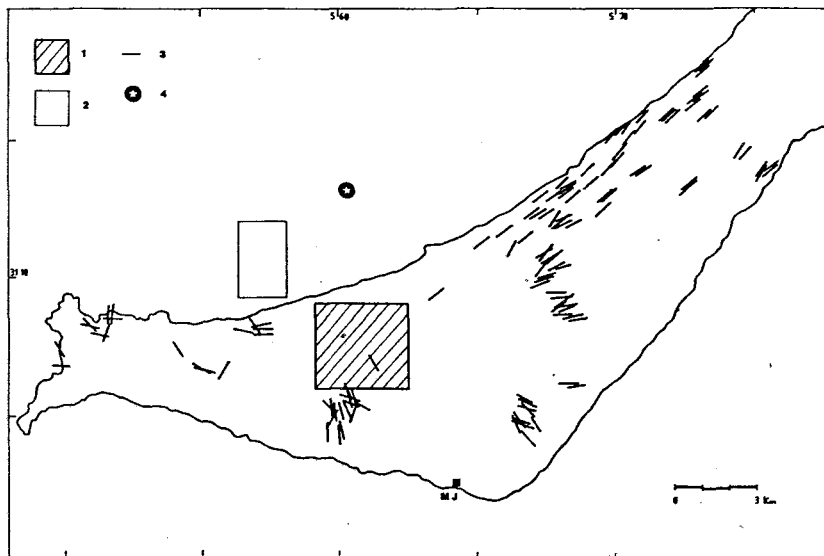


Figura 22.-Diques del Edificio Sur que atraviesan la Serie I Inferior y que no pueden interpretarse como pertenecientes al sistema de los Edificios Intermedio-Superior. 1.- Área de convergencia calculada. 2.- Área de convergencia calculada para el sistema de los Edificios Intermedio-Superior. 3.- Diques. 4.- Posición del centro de convergencia "morfológica". M.J. Morro Jable.

2.4.5.- BATIMETRÍA

La batimetría de Jandía es enormemente interesante (fig.11). En la zona Sur el fondo desciende muy bruscamente, en 3 km alcanza los 100m y un kilómetro después los 500 m. Estamos de nuevo ante un edificio circular que no ha penetrado mucho en el mar en esta zona. La batimetría en la costa N es totalmente diferente. Al Norte de la punta NW de Jandía y al Norte de El Jable los 100m se alcanzan a los 14Km de distancia. Ello indica que posiblemente el edificio Jandía se extendió bastante en el mar, hacia el Norte. El corte 4 de la figura 12 y el de la figura 23 evidencian esa prolongación submarina del Edificio de Jandía, como ya deducíamos por morfología y diques.

Pero además hay que llamar la atención sobre la forma de las isobatas que se arquean hacia el interior a la altura de Cofete, de forma que frente al islote de Cofete los 100 m se alcanzan sólo a los 6Km. La morfología del fondo marino parece el reflejo de un gran deslizamiento hacia el Norte, en el que se ha originado una depresión de

cerca de 15Km de ancho. El cambio de curvatura en la isobata de 1000 m apoya también esta hipótesis, correspondiendo a una zona de acumulación.

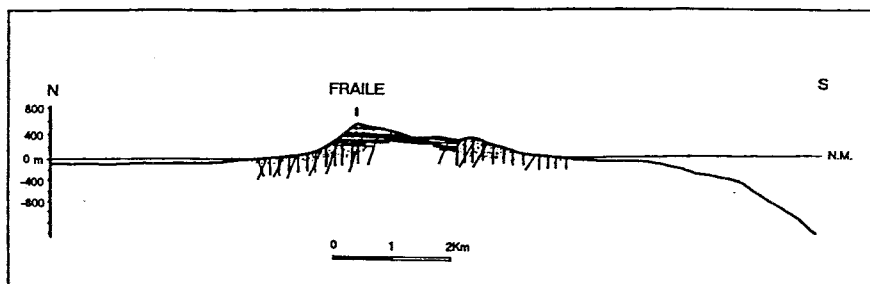


Figura 23.- Corte esquemático de la península de Jandía y zona submarina próxima.

Tendríamos pues en conjunto en Jandía un Edificio circular como indicaba ya Benítez (1946) y criticaba Hausen (1958), aunque no con una caldera gigante, sino con un importante deslizamiento, similar a los reconocidos, por ejemplo, en Tenerife y en El Hierro. La pared Norte de Jandía podría, por tanto, haberse formado por un deslizamiento hacia el Norte, retrocediendo luego por la erosión y en la que la dirección de los diques, N 50° E, en la parte oriental y, en menor medida, los N 100° E en la parte occidental pueden haber condicionado la forma de dicha costa.

La presencia de concavidades en el frente de la pared actual indican que los deslizamientos (de menor entidad) son un factor importante en el retroceso de la misma.

2.4.6.- DIMENSIONES

Estamosos de nuevo ante un gran edificio circular, suma de la morfología de los Edificios Sur Intermedio y Superior, cuyo radio pudo ser de unos 12-13 Km.

Con un cálculo análogo al de los otros edificios de la isla, podemos calcular una altura mínima, con la cota más alta de cada cuchillo. Las alturas mínimas así obtenidas, para el centro (figura 20) van de 1250 a 1900 m, siempre con pendientes muy pequeñas:

Montaña Blanca: 1.246 m; Morro del Jorao: 1.292 m; Pico de la Zarza: 1.503 m; Morro del Cavadero: 1.431 m; Cuchillo del Ciervo: 1.650 m; Pico del Fraile: 1.821 m; Pico de la Camella: 1.882 m; Sierra de Licanejo: 1.640 m y Montaña Aguda: 1.537 m

Para un radio de 13 Km tendríamos para una pendiente de 5° una altura de 1.150 m; para 6° una altura de 1.350 m; para 7° una de 1.600 m y para 9° unos 2.050 m.

En **resumen**, en la Serie I pueden definirse y caracterizarse tres grandes edificios circulares, cada uno con una historia geológica compleja y con una estratigrafía particular y resultado de la suma de varios edificios anteriores. En la fig.24 presentamos un resumen de la estratigrafía para los tres edificios. En la fig.25 se esquematiza la posición de dichos edificios y la dirección de la pendiente de los mismos en la zona donde aflora la Serie I.

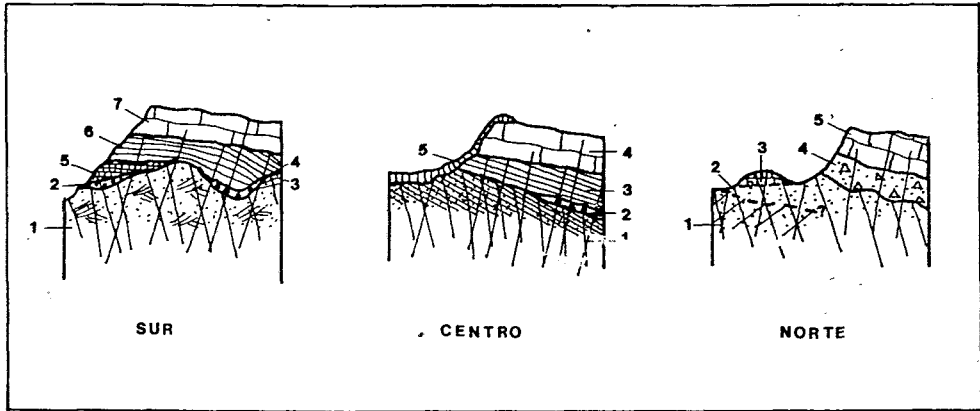


Figura 24.- Esquemas estratigráficos de los tres edificios de la Serie I. **Edificio Sur:** 1. Serie I Inferior. 2. Tobas Sáficas. 3. Coladas de la Serie I Inferior. 4. Brechas. 5.- Serie I Intermedia (Tramo Bajo). 6.- Serie I Intermedia (Tramo Alto). 7.- Serie I Superior.- **Edificio Central:** 1.- Serie Inferior. 2.- Brecha. 3.- Serie I Intermedia. 4.- Serie I Superior. 5.- Serie I Tardía. **Edificio Norte:** 1.- Serie I Inferior (Tramo Bajo). 2.- Serie I Inferior (Tramo Medio). 3.- Serie I Inferior (Tramo Alto). 4.- Serie I Intermedia (Formación Ampuyenta). 5.- Serie I Superior.

2.5.- EDAD DE LA SERIE I

2.5.1.- EDAD RELATIVA DE LOS EDIFICIOS

La aproximación a la edad de la Serie I puede efectuarse de forma relativa a partir de las relaciones entre edificios y de forma cuantitativa mediante dataciones radiométricas.

2.5.1.1.- Relaciones Edificio Norte - Edificio Central

La unión entre el Edificio Norte y el Central se realiza en el sector entre el Barranco de Antigua (Barranco de La Torre) y el Cuchillo de Palomares. El último cuchillo formado íntegramente por series del Edificio Central es el de Agudo, que tiene una estructura análoga a la del corte B de la fig.13. Hacia el Norte las zonas bajas "intra-cuchillos" están ocupadas por materiales de la Serie I Inferior del Edificio Central. En el siguiente cuchillo hacia el Norte (el cuchillete de Buenavista) se mezclan los materiales de los dos edificios. En la parte baja e interna del cuchillo está la Serie I Inferior del Edificio Central, más hacia la costa y por encima está la Serie I

Intermedia del Edificio Central, coronando está la Serie I Superior del Edificio Norte, posiblemente el tramo alto. Separando las series de los dos edificios aparecen niveles sedimentarios. Más hacia el Norte aún, hasta el Cuchillo de Palomares, parece prolongarse en la parte baja de los cuchillos la Serie I Inferior del Edificio central pero ninguna otra.

Así, por tanto, el Edificio Norte Superior es posterior al Edificio Central Inferior e Intermedio. El Edificio Central Superior puede ser también anterior al Edificio Norte Superior, porque si no quedaría colgado topográficamente. Debió ser erosionado antes de la formación del Edificio Norte Superior. En el campo no se ven otras relaciones y no podemos conocer, por tanto, la correlación entre el Edificio Central y la Serie Inferior o la Intermedia del Norte.

2.5.1.2.- Relaciones Edificio Central - Edificio Sur

La unión del Edificio Sur con el Edificio Central se realiza a través del Istmo de la Pared, una zona cubierta, en buena parte, por depósitos posteriores (arenas y caliches).

Desde luego, es evidente que en la Serie I Intermedia y en la Superior de ambos edificios la unión es inexistente, pues los materiales de los dos tienden a ir hacia el istmo pero con direcciones contrarias (fig.14,15,19 y 20). A la zona de El Jable prácticamente no habrían llegado los materiales de ninguno de los dos edificios y la menor altura de esta zona debe responder justamente a que no ha sido cubierta por materiales volcánicos posteriores a los de la Serie I Inferior.

La concordancia de direcciones de diques en El Jable y en el extremo SW del Edificio Central (fig.16,17 y 22) hace pensar en una posible unión entre ambos edificios. La edad de los diques, como veremos, apunta también esta posibilidad. Sin embargo, en detalle, parecen seguir ambos pautas radiales independientes. Aunque serían necesarios más datos, en especial geocronológicos, tal vez pueda tratarse de una superposición de sistemas radiales en una dirección fisural lineal predominante.

2.5.2.- EDADES RADIOMÉTRICAS

El conocimiento de la edad radiométrica de la Serie I de Fuerteventura era hasta hace poco tiempo muy limitado. La mayor parte de los trabajos se referían al Complejo Basal o a los diques del propio Complejo Basal (Rona y Nalwalk, 1970; Abdel Monem et al., 1971; Grunau et al., 1975, Feraud, 1981, Feraud et al. 1985, Le Bas et al.1986). Las únicas coladas datadas lo habían sido por Abdel Monem et al. (1971) que daban para una colada de Serie I, en Tostón-Cotillo, 21,2 Ma y para otras tres coladas sucesivas en Jandía, 17,0, 16,3 y 14,7 Ma (edades todas recalculadas a las constantes actuales de Steiger y Jaeger, 1977). Feraud (1981) por su parte, dató diques de los Edificios Central y Sur que encajan en la Serie I.

Coello et al., (1992) datan las distintas unidades subaéreas de la isla a partir de un muestreo previo a los nuevos esquemas estratigráficos, aunque utilizándolos en parte a la hora de la discusión. Por su parte Balcells et al. (en prensa) completa en

parte las lagunas cronológicas existentes en el trabajo anterior. Sin embargo, el modelo que desarrollamos en este trabajo vuelve a plantear nuevas incógnitas geocronológicas que en parte se resuelven con las nuevas dataciones radiométricas que presentamos (Tabla 1) y que en otra parte quedan pendientes de resolución para futuras investigaciones.

Tabla 1.- Edades radiométricas K-Ar.

Roca	K%	⁴⁰ Ar rad	%Ar atm	Edad (Ma)	Lab
Norte					
Ne-1	1,08	1,270 _{nl/g}	52,64	31,46 ± 1,12	UCM
Ne-7	0,79	0,489 _{nl/g}	55,92	17,0 ± 0,85	UCM
Ne-10	0,93	0,505 _{nl/g}	83,62	15,34 ± 1,26	UCM
Central					
CPN-4	1,21	1,065 _{nl/g}	58,80	21,50 ± 0,83	UCM
Fue-24	0,98	0,790 _{nl/g}	36,74	20,93 ± 0,74	UCM
Fue-24*	0,98	1,392 _{ng/g*}	30,43	20,40 ± 0,40	CFd
Fue-27	1,01	0,787 _{nl/g}	20,53	20,01 ± 0,68	UCM
Fue-27*	1,01	1,297 _{ng/g*}	21,96	18,30 ± 0,30	CFd
Fue-59	1,64	1,036 _{nl/g}	23,93	16,19 ± 0,51	UCM
Fue-59*	1,64	1,768 _{ng/g*}	22,45	15,40 ± 0,34	CFd

(*): Edades K/Ar de Coello et al. (1992).- UCM: Labor. de Geocronología de la Univ. Complutense de Madrid; CFd: Labor. de Geocronología de la Univ. Blaise Pascal-CNRS, Clermont-Ferrand, Francia.

Las dataciones se han efectuado en el Laboratorio de Geocronología de la Universidad Complutense de Madrid. Para controlar la validez de la comparación entre los resultados tres muestras del trabajo de Coello et al., (1992) han sido datadas de nuevo (Fue-24; Fue-27 y Fue- 59). Los resultados son comparables, aunque existen algunas diferencias que pueden ser importantes a la hora de la interpretación vulcanológica. En la figura 26 se sitúa la posición de todas las edades radiométricas de la Serie I de Fuerteventura.

2.5.2.1.- Edad del Edificio Sur

Edificio Sur Inferior

La edad más antigua del Edificio Sur corresponde a un dique (Feraud, 1981) del Barranco Esquinzo cuya posición no está clara, pues pertenece a un sistema de dirección N130°-155° y tiene una edad de 20,7 ± 0,4 Ma. La dirección del dique en ese sector de Jandía (SE) puede corresponder a la del enjambre de la Serie I Inferior (fig.22) y nos marcaría pues la edad de esta unidad, aunque tal vez un nivel alto. No ha sido posible, por ahora, datar otras muestras que no sean diques, ya que en esta serie abundan más los piroclastos y además está todo muy alterado.

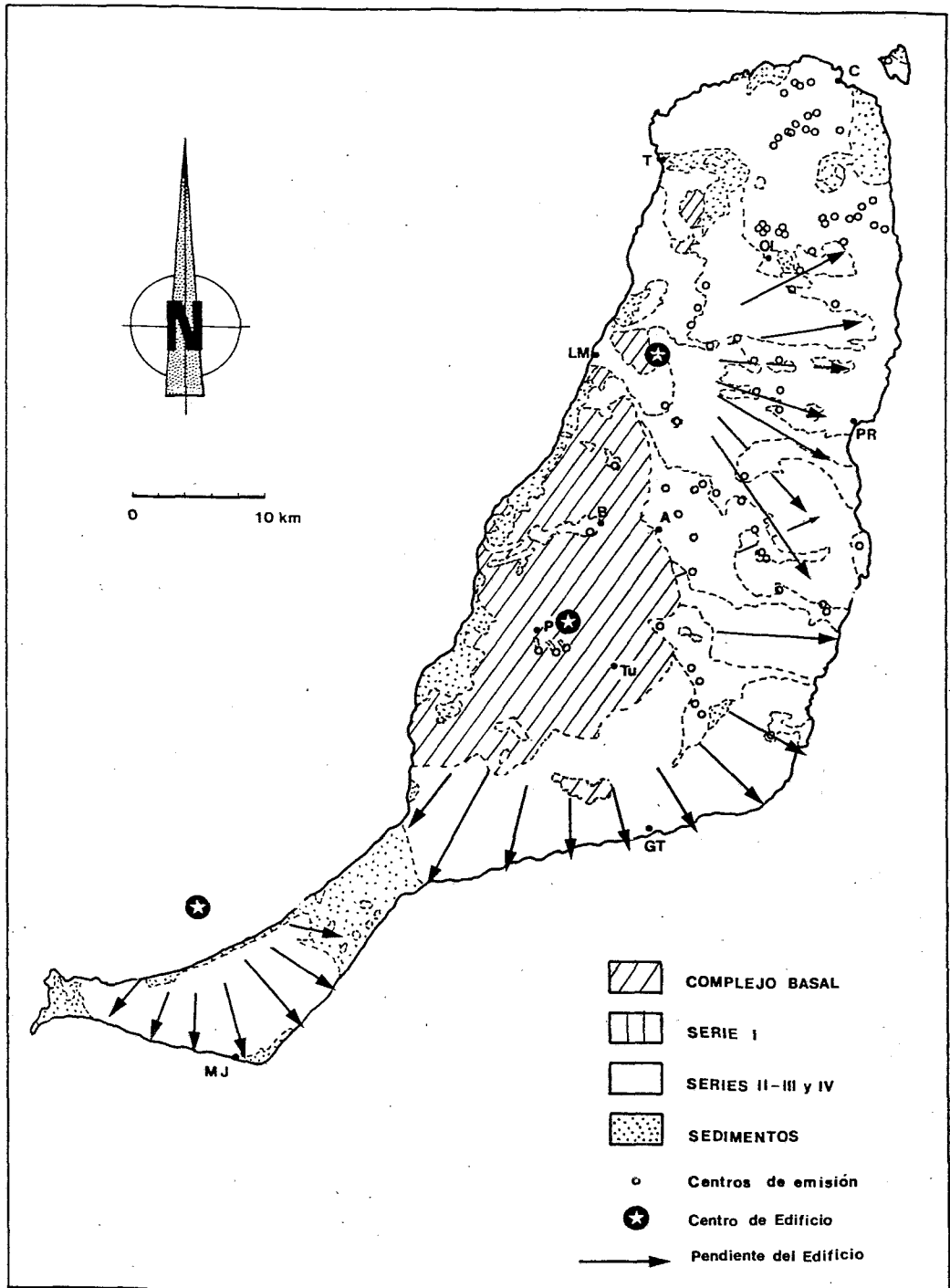


Figura 25.- Esquema de la posición de los tres edificios de la Serie I. Las unidades geológicas son las mismas que en la figura 1.

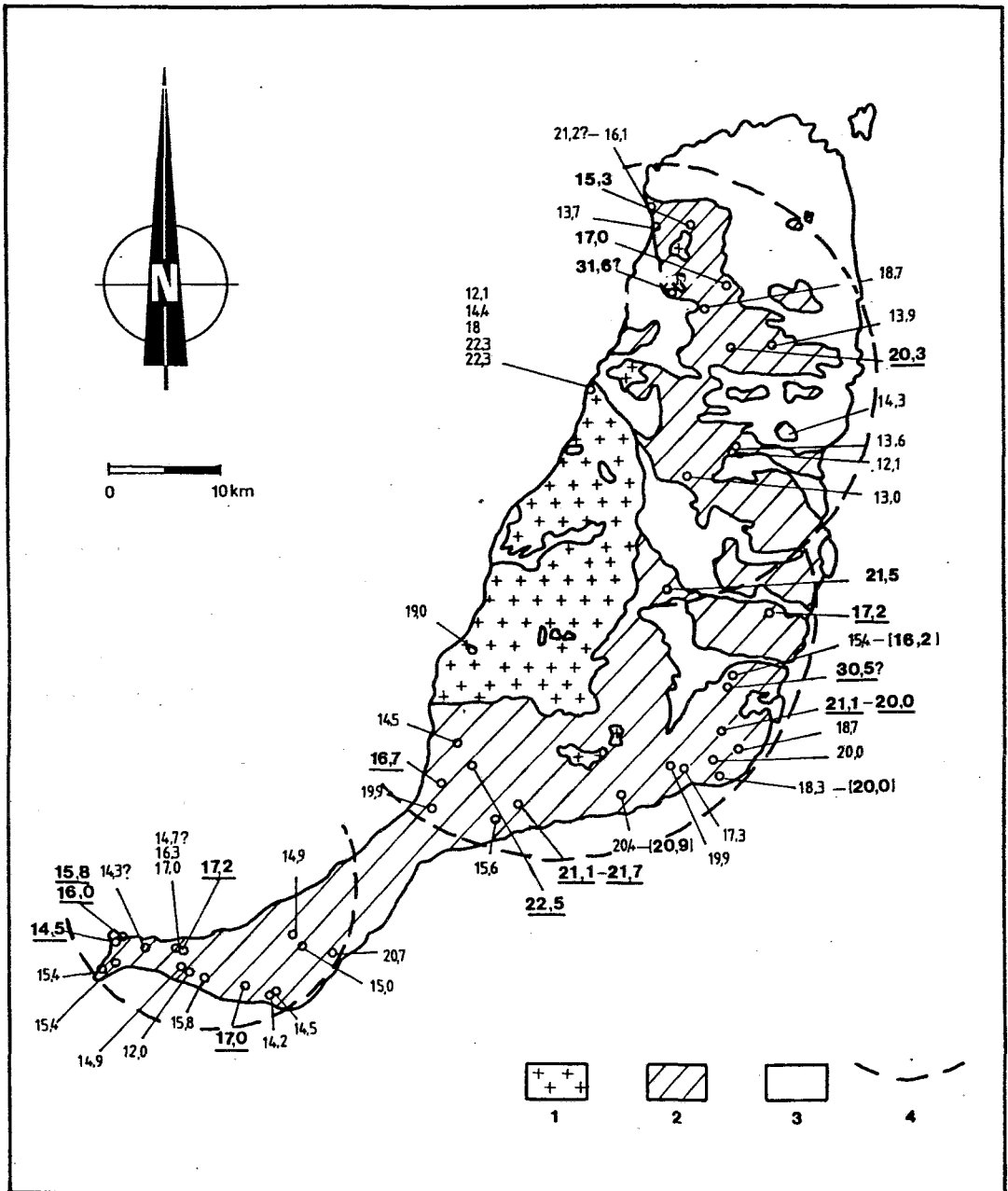


Figura 26.- Esquema de situación de las edades radiométricas de la Serie I. En números finos edades publicadas. En números gruesos edades inéditas: sin subrayar este trabajo, subrayadas Balcells et al. (en prensa). 1.- Complejo Basal. 2.- Serie I. 3.- Series II y III. 4.- Límite aproximado de los tres edificios.

Edificio Sur Intermedio

Abdel Monem et al.(1971) obtienen para tres coladas prácticamente sucesivas en la Degollada de Cofete: 17,0 , 16,3 y 14,7 Ma, edades demasiado diferentes para coladas que están superpuestas, sin ninguna discontinuidad, ni síntomas de pausas y de aspecto general muy similar. Estas muestras se hallan en un afloramiento del tramo bajo de la Serie I Intermedia, pocos metros por encima de la Serie I Inferior, por ello Balcells et al., (in press) vuelven a datarla (muestra J10) obteniendo una edad de $17,20 \pm 0,75$ Ma, coherente con las dos primeras de Abdel Monem et al. (1971), pero no con la de 14,7 Ma que creemos que debe de dejar de ser considerada de ahora en adelante como valor correcto.

En Siete Fuentes una colada que se encuentra también encima de la Serie I Inferior y con posición estratigráfica comparable a las anteriores ha sido datada en 16,99 Ma (Balcells et al., in press).

Los 17 Ma podrían pues definir el tramo bajo de la Serie I Intermedia.

Coello et al. (1992) datan más rocas en Jandía, pero no se puede precisar exactamente su posición en la estratigrafía propuesta. De todas ellas, la de 15,8 Ma, en la desembocadura del Barranco de los Escobones, puede muy bien pertenecer al tramo alto de la Serie I Intermedia. En el Faro de Jandía, Coello et al. (1992) datan una colada en 15,4 Ma, intensamente atravesada por todos los diques de los Edificios Sur Intermedio y Superior (fig.21) que afectan más a la Serie Intermedia que a la Superior. Puede por tanto pertenecer a la Serie Intermedia, tramo alto. Feraud (1981) en el mismo sector, data un dique de 15,4 Ma.

En la Caleta de la Madera Balcells et al., (in press) datan una colada discordante con la Serie I Inferior y atravesada por algún dique. Su edad 15,8-16,0 Ma encaja en esta serie.

Edificio Sur Superior y Formación de La Angostura

Coello et al. (1992) datan rocas que podemos incluir en el Edificio Sur Superior, una en 15,0 Ma, en el cuchillo que asciende al Pico de la Zarza y otra 14,9 Ma en la base del mismo pico. La posición estratigráfica de ambas es muy similar y coherente con sus edades análogas. Datan también las traquitas del Cuchillo del Palo en 15,2 Ma.

Por otro lado, Feraud (1981) data diques en 14,9, 14,5 y 14,2 Ma; algo más jóvenes que estas rocas y que plantean algún problema, pues pertenecen al enjambre que corta la Serie I Intermedia pero que normalmente no atraviesa a la Superior. Otro dique de Feraud (1981) de 12 Ma, si no es un error, indicaría la existencia de una actividad más tardía.

Las nefelinitas del NW de Jandía han sido datadas en 14,5 Ma (Balcells et al., in press). La edad parece demasiado antigua, pues debería ser más joven que los diques

antes mencionados ya que éstos no la atraviesan. La presencia de algunas ceolitas puede ser tal vez la causa de una edad superior a lo esperado.

La edad de la traquita de Montaña Azufrá (14,5 Ma) no ha sido puesta en duda por Coello et al. (1992), pero si se correlaciona con las tobas que separan los Edificios Sur Inferior de Intermedio en el Oeste de la península de Jandía (como parece razonable y de acuerdo con Cubas et al., 1989), la edad tendría que ser mayor de 17 Ma y el valor obtenido sería por tanto incorrecto.

En **resumen**, tendríamos como posibles edades:

Edificio Sur Inferior:.....20,7 Ma (?).

Edificio Sur Intermedio: tramo bajo ... aprox 17 Ma.

tramo alto 15,8 - 15,4 Ma.

Edificio Sur Superior 15,2 - 14,2? Ma.

2.5.2.2.- Edad del Edificio Central

Coello et al. (1992) aportan las primeras edades de coladas de este edificio a las que se unen las de los diques datados por Feraud (1981). Aquellos autores reconocen tres episodios: un primero de 20,4 a 17 Ma que englobaría las unidades inferior e intermedia, un segundo sobre los 15 Ma y un tercero sobre los 13 Ma.

Edificio Central Inferior y Edificio Central Intermedio

Uno de los objetivos geocronológicos más importantes en éste y en los otros edificios es datar los tramos iniciales que, por su menor precisión estratigráfica y mayor alteración, son los que dan más problemas y consiguientemente los menos conocidos. Los diques que data Feraud (1981) tienen en el SE del edificio: 17,3; 18,3; 19,9 y 20,0 Ma y en el SW: 19,9 Ma. Por su parte, Coello et al. (1992) datan, dentro del Complejo Basal, un dique que interpretan como de la Serie I, en 19,0 Ma. El problema es saber si se trata de diques que deben asociarse a la Serie I Inferior o Intermedia ya que en el campo no siempre es posible, cuando no hay discordancia, distinguir una de otra.

Coello et al. (1992) datan dos coladas: una en el Faro de la Entallada, en un sector donde casi no hay diques, en 18,3 Ma. Esta muestra se ha vuelto a datar en Laboratorio de la U.C.M., dando $20,01 \pm 0,74$ Ma (Tabla 1). En nuestra opinión pertenece al Edificio Central Intermedio. La otra en la cima de la Montaña de Gran Tarajal, da 20,4 Ma y se ha vuelto a datar en la U.C.M. en 20,9 Ma. En el lugar que está tomada la muestra no hay muchos diques y está por encima de una discordancia que ya citan Fúster et al. (1968). A pesar de lo antiguo de la edad, en nuestra opinión, sigue siendo el Edificio Central Intermedio.

Balcells et al., (in press) realizan nuevas dataciones: En el Barranco de las Hermosas, encima una brecha de "tipo Ampuyenta", datan una colada de $22,5 \pm 0,8$ Ma. La interpretación puede ser: 1.- Es una colada de Serie I Inferior y existen varios

episodios de brechas, no sólo la que separa la Serie I Inferior de la Intermedia. 2.- Es la base de la Serie I Intermedia.

Siendo posibles las dos interpretaciones creemos, a tenor de lo expuesto, que es más probable la segunda.

En el Barranco de Tisajorey al SW del Edificio una muestra perteneciente a coladas sin o con muy escasos diques (cuando la Serie I Inferior tiene uno cada cuatro o cinco metros) ha sido datada en $21,7 \pm 0,5$ Ma y $21,1 \pm 1,04$ Ma respectivamente en Clermont-Ferrand y en la U.C.M. (Balcells et al., in press). Sería, por tanto, en nuestra opinión, del Edificio Central Intermedio.

En el extremo opuesto, al NE del Edificio, en la montaña del Morrito del Asiento, hemos recogido para este trabajo una muestra de un paquete de coladas que alternan con sedimentos y que a su vez se apoyan sobre ankaramitas llenas de diques. En la cartografía 1:100.000 de Fúster et al. (1968) ya aparecen estos sedimentos. A su vez, dichas coladas, están atravesadas por algunos diques y entre ellos los de traquita asociados a las traquitas de los Morros de Pozo Negro a las que esta edad (21,5 Ma), por tanto, predataría. En este caso no cabe duda que es una colada post Serie I Inferior y posterior a un episodio importante de erosión.

Balcells et al. (in press) han datado otras dos muestras en el lado oriental. Una al W de Vigán, en un punto de dudosa asignación a Serie I Inferior o Intermedia y cuya edad ha sido calculada en $21,12 \pm 1,05$ Ma en la U.C.M. y $20,03 \pm 0,04$ Ma en Clermont. Más al Norte otra muestra ha dado $30,47 \pm 1,47$ Ma; se trata de una roca muy rota con una posición similar a la anterior, cuya edad, por lo antiguo y alterada, conviene no tener en consideración hasta que no se confirme con otra.

En **resumen**, en nuestra opinión, las muestras para las que se ha estimado una edad de 20 - 22 Ma, podrían ser todas del Edificio Central Intermedio. En ese caso la edad del Edificio Central Inferior, obviamente anterior, no la conoceríamos todavía.

Edificio Central Superior

No hay un control radiométrico preciso de esta unidad Coello et al. (1992) datan una colada de 15,4 Ma en la cima de la Atalaya de Pozo Negro, un pitón de 15,6 Ma en La Lajita, una colada de 14,5 Ma en Huertas de Chilegua sin claras relaciones estratigráficas. Por su parte Balcells et al. (in press) datan otra de 16,7 Ma también de posición poco clara.

La traquita del Barranco de la Torre con 17,2 Ma (Balcells et al., in press) puede muy bien pertenecer a esta serie o a la Intermedia. Según esto no puede asegurarse rotundamente que sea del mismo ciclo que la de los Morros de Pozo Negro, de cuya edad sólo sabemos que es menor de 21,5 Ma.

Formaciones Locales

La edad de las Formaciones Locales es uno de los principales problemas geológicos pendientes. Sólo la Serie de Los Tableros ha sido datada por Coello et al. (1992) en

13,2 Ma, confirmando su edad más reciente y tardía. De las otras dos Formaciones: Tamacite y Melindraga no existen dataciones, y por su posición estratigráfica sólo puede decirse que son post-Depresión Central y post-Edificio Central Intermedio al que se superponen. Sin embargo, su edad relativa con respecto a los materiales de la Serie I Superior no se conoce.

En **resumen**, quedan sin resolver en este Edificio Central importantes problemas geocronológicos, fundamentalmente la edad del Edificio Central Inferior, de las Formaciones Melindraga y Tamacite y confirmar las edades de la Serie I Superior.

2.5.2.3.- Edad del Edificio Norte

Edificio Norte Superior

Coello et al. (1992) datan varias muestras de la Serie I Superior y obtienen edades que abarcan desde 14,3 a 12,8 Ma. Señalan que la edad de Abdel Monem et al. (1971) de 12,2 Ma (recalculada) debe ser tomada con precaución, ya que, como indica el propio autor, es una roca amigdalar. Además, estos mismo autores datan otra muestra, en un nivel equivalente, otra muestra en 13,6 Ma.

Formación Ampuyenta (Serie I Intermedia)

Coello et al. (1992) postdatan la formación en la Montaña del Campo, donde obtienen, para una colada suprayacente, una edad de 13,0 Ma. Por otra parte, interpretan como Formación Ampuyenta los materiales que aparecen entre Montaña de Enmedio y Montaña Tesjuate y datan una colada infrayacente en 13,6 Ma.

Ya hemos mencionado que, en nuestra opinión, al igual que Martín (1984), estos materiales pueden no ser de la Formación Ampuyenta. Basamos esta opinión en una serie de consideraciones:

- En ese sector, la teórica formación Ampuyenta tiene intercalados sedimentos muy distintos a los habituales.

- Las coladas que aparecen por debajo son totalmente distintas al resto de las coladas intercaladas en Ampuyenta, no son ni pahoehoe muy porfídicas ni amigdalares, sino basaltos o traquibasaltos afaníticos, frescos y desprovistos de diques.

Por otra parte, de ser cierta la interpretación de Coello et al. (1992), implicaría que la Formación Ampuyenta sería un nivel intercalado en la Serie I Superior. Además, el que en la misma serie haya edades de 14,3 Ma indica que ni tan siquiera sería un nivel bajo de la misma.

Las relaciones de campo ya descritas en los afloramientos "típicos" de Ampuyenta no concuerdan en absoluto con todo lo anterior, por lo que nos inclinamos a creer que la Formación Ampuyenta no es de esa edad.

Balcells et al., (in press) intentan datar una colada intercalada en el techo de la Formación Ampuyenta, en el Morro Tabaiba, en una roca alterada y con alguna ceolita. La edad obtenida $20,3 \pm 1,41$ Ma, parece demasiado antigua o difícil de interpretar.

Edificio Norte inferior

En su momento indicamos la existencia de tres tramos en esta serie, de los que es posible que el superior y el medio pudieran ser el mismo. Coello et al. (1992) datan en 16,1 Ma la misma colada para la que Abdel Monem et al. (1971) obtenían 21,2 Ma, en Tostón-Cotillo.

Para las traquitas de Tindaya obtienen 18,7 Ma aunque señalan que hay que tomar la edad con precaución por la alteración hidrotermal que las caracteriza.

Hemos datado la Formación de la Oliva en $17,0 \pm 0,85$ Ma (Tabla 1) y la de Lajares en $15,34 \pm 1,26$ Ma. Por tanto, el tramo alto de la Serie I Inferior tendría alrededor de los 16 Ma. La colada de Tostón-Cotillo sería de la misma edad y posiblemente de la misma unidad. En Tostón-Cotillo la colada datada está encima (discordante) de una unidad muy atravesada por diques, que lógicamente será anterior y que nosotros interpretamos como el tramo bajo de este Edificio Norte Inferior.

En el Barranco Esquinzo, para una colada situada encima del Complejo Basal y muy atravesada por diques, hemos obtenido una edad muy antigua: de 31,5 Ma, que debe ser interpretada con precaución al igual que comentábamos para la de 30,5 Ma del Edificio Central Inferior.

También pueden ser consideradas las dataciones que realizan Rona y Nalwalk (1970) en la zona de Los Molinos, en dos diques: 14,4 y 12,1 Ma. Su interpretación como pertenecientes al enjambre de diques del Edificio Norte Superior parece evidente, máxime cuando el centro calculado se hallaría muy próximo a la zona de Los Molinos.

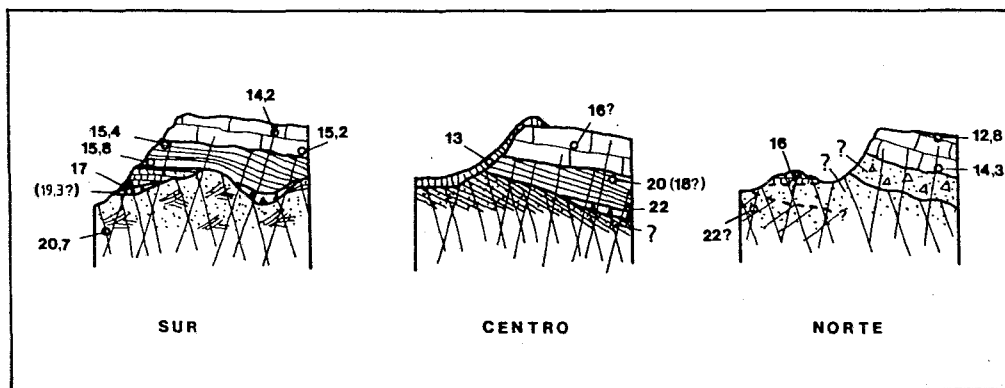


Figura 27.- Edades radiométricas de las distintas unidades de la Serie I. (Clave de las unidades en la figura 24).

Por otro lado, los mismos autores datan otro dique en 18,0 Ma y otros dos en 22,3 Ma. Posiblemente pudiera corresponder al tramo bajo o medio del Edificio Norte Inferior aunque, como es obvio se trata sólo de una interpretación.

En **resumen**, tendríamos: Edificio Norte Superior: 14,3 - 12,8 Ma; Edificio Norte Inferior: Tramo alto, 16 Ma. La edad de los tramos bajo y medio del Edificio Norte Inferior podría ser de 22 Ma y la de la Formación Ampuyenta estaría entre 16 y 14,3 Ma.

En la figura 27, esquematizamos la geocronología de las distintas series de los tres edificios.

2.5.3.- EMIGRACIÓN DE LA ACTIVIDAD

Coello et al. (1992) indican que puede observarse una cierta migración de la actividad de Sur a Norte, en un modelo que incluye las islas de Fuerteventura y Lanzarote. Esta migración se refiere esencialmente a los últimos momentos de actividad de cada Edificio de la Serie I y al comienzo de una nueva actividad en lo que corresponde a la Serie II. Efectivamente esta última actividad se reinicia a los 5 Ma. con el volcán de Betancuria y los sucesivos volcanes (2,9-2,7 Ma) van situándose más al Norte, en el sector de Antigua y Los Molinos, y otros más jóvenes aún en Lanzarote.

El nuevo esquema de Serie I planteado en este trabajo no confirma este modelo para la totalidad de la serie, aunque las imprecisiones cronológicas son todavía demasiadas para poder negarlo o afirmarlo con rotundidad.

Con los datos que poseían los autores anteriores, la Serie I comenzaba en el Edificio Central entorno a los 20 Ma aunque también indicaban la posibilidad de actividad contemporánea en Jandía. Tal como hemos ido exponiendo, la Serie I pudo empezar bastante antes, al menos a los 22 Ma y tanto en el Edificio Norte como en el Central e incluso, posiblemente, en Jandía.

Entre los 22 y los 20 Ma hay signos de actividad en los tres edificios. En el Edificio Central la Serie I Intermedia tiene en este período su mayor desarrollo. En el Edificio Sur el dique de 20,7 Ma (Feraud, 1981) evidencia esa actividad y en el Norte lo hacen los diques de 22 Ma de Rona y Nalwalk (1970), aunque no sea factible hacerlos corresponder todavía en detalle con las sucesiones que observamos.

El siguiente período de actividad, que corresponde a los 16-17 Ma, está claramente reflejado en Jandía, en la Formación Lajares-La Oliva en el Norte y posiblemente en el Edificio Central. Tampoco aquí se puede hablar, por tanto de migración.

El último período de actividad tendría lugar en el Edificio Sur Superior (15-14 Ma) y sería, tal vez, en parte equivalente al Edificio Central Superior, sin que conozcamos si tendría equivalente en el Edificio Norte.

A partir de entonces, sí parece que exista una migración temporal de la actividad hacia el Norte. En ese momento las emisiones en Jandía han cesado prácticamente, sólo la datación de un dique de 12 Ma (Feraud et al., 1985) indica que puede existir

aún alguna manifestación residual. Sin embargo es el momento de formación del gran Edificio Norte Superior.

La Serie de Los Tableros del Edificio Central, datada por Coello et al.,1992 en 13,2 Ma, coincide plenamente en edad con la del Edificio Norte Superior, pero realmente, por su escasa importancia volumétrica debería ligarse con la actividad de éste aunque espacialmente esté en el Edificio Central.

En el Sur de Lanzarote, el macizo de Serie I de Los Ajaches es, posiblemente, otro edificio circular del que sólo se conserva su parte oriental o suroriental. Las edades radiométricas existentes (Ibarrola et al.,1989, Coello et al.,1992) indican que la actividad principal tuvo lugar en él entre 15,5 Ma y 12,3 Ma, es decir, su actividad fue en buena parte contemporánea con la del Edificio Norte Superior de Fuerteventura.

2.6.- EVOLUCIÓN DE LA ACTIVIDAD VOLCÁNICA EN LA SERIE I

2.6.1.- EL ENTORNO SUBMARINO DE LA ISLA DE FUERTEVENTURA

En cada edificio hemos comentado que la batimetría de Fuerteventura refleja con bastante exactitud la forma que les corresponde (fig.11). En el caso de los Edificios Norte y Central, la batimetría ponía en evidencia la prolongación submarina de los mismos más hacia el Oeste que hacia el Este, justificando de ese modo el que los centros calculados para ellos estuvieran desplazados hacia el Oeste con respecto a la parte emergida de la isla. Por otro lado, la parte submarina de la isla es más estrecha en el Edificio Norte que en el Central, reflejo de su menor tamaño y en concordancia con lo deducido por nosotros siguiendo otros criterios. En el Edificio Sur, la batimetría confirma su prolongación hacia el Norte.

La batimetría evidencia además la existencia de dos montes submarinos a continuación de la península de Jandía (fig.11 y 28). Uno se sitúa al NW de Jandía y en las cartas náuticas es denominado Bajo de Amanay, por lo que podemos utilizar este nombre para designarlo. Al igual que Fuerteventura, surge de un fondo marino de 2000 m de profundidad y alcanza hoy día profundidades inferiores a los 50 m. Todas sus características son las de un edificio volcánico, el Edificio submarino de Amanay. Sus dimensiones a los 1000 m de profundidad podrían ser las de un círculo de unos 28 km de diámetro y a los 200 m las de uno de 19 km. Estas dimensiones resultarían similares a las del Edificio Jandía y a las de otras islas del Archipiélago: El Hierro a 1000 m tiene unos 32 km de diámetro y la parte Norte de La Palma unos 30 km.

Entre el Edificio submarino de Amanay y el de Jandía existe una depresión que alcanza cerca de los 1000 m de profundidad. En la fig. 12 perfil 3, puede apreciarse la similitud del perfil de este edificio y el de Jandía, en el que volumétricamente la parte subaérea es casi un accidente.

Hacia el SW de la punta de Jandía se sitúa el otro monte submarino. Éste aparece en continuidad con el Edificio Sur a través de una zona plana y poco profunda (entre 20 y 30 m) de unión (fig. 11 y 28). En el corte 5 de la fig. 12 podemos ver su

semejanza con el Edificio de Amanay y que su separación corresponde a un surco que supera los 1000 m. Parece pues, tratarse de un edificio independiente. En las cartas náuticas sólo figura en la zona el nombre de El Banquete por lo que le denominaremos de esa forma: Edificio submarino de El Banquete. Sus dimensiones son parecidas a las del Edificio de Amanay, unos 29 km de diámetro a los 1000 m de profundidad y 19 km a los 200 m.

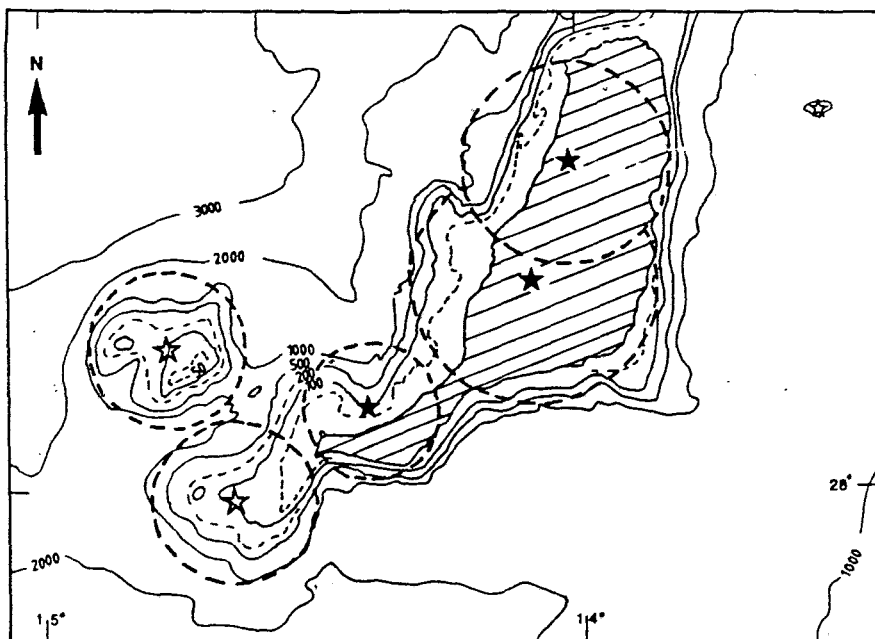


Figura 28.- Situación de los tres edificios de Serie I y de los posibles edificios submarinos de Amanay y El Banquete. Estrellas negras: edificios subaéreos. Estrellas blancas: posibles edificios submarinos.

La forma de ambos montes submarinos se ajusta a la de dos edificios circulares (fig. 28), con lo que no sería arriesgado considerarlos conjuntamente con los otros tres edificios circulares que hemos descrito en Fuerteventura y que constituyen la Serie I.

En la parte submarina septentrional del Edificio Sur existe una importante depresión que, partiendo de su zona central, se abre hacia el Norte y cuya morfología (fig.11) es la de un gran deslizamiento que pudo ser, en gran parte, el origen de que hoy sólo se conserve la mitad sur del edificio. El análisis de la batimetría existente permite reconocer otras formas que pueden haberse originado de modo similar. En el SW del Edificio de Amanay, es evidente uno (fig. 11 y 29) marcándose claramente la inflexión de las isobatas de 500 y 200 m, posiblemente generando la separación en dos de la isobata de 100 m y provocando la inflexión en sentido contrario de la de 1000m.

Existen otras dos posibles zonas con deslizamientos importantes (fig. 29), una al SE de la isla, frente a Gran Tarajal y otra al Oeste, frente a la Playa de Los Mozos

que se extiende hacia el Norte. Los deslizamientos parecen, por tanto, un mecanismo fundamental en la evolución de Fuerteventura, como sucede en otras islas del archipiélago (Bravo, 1964; Coello, 1971 y 1973; Navarro y Coello, 1989; Ancochea et al.,1990) y, en general, en todas las áreas volcánicas, tanto en edificios subaéreos como submarinos (Moore, 1964).

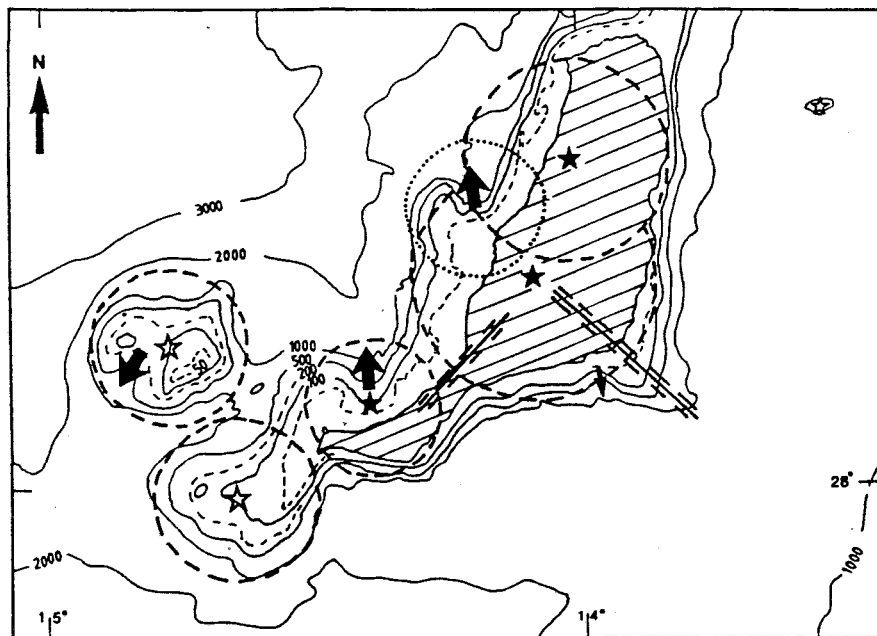


Figura 29.- Zonas de posibles grandes deslizamientos (flechas). Las líneas del sur de la isla indican las direcciones más abundantes de diques en ese sector.

La posición del último de los posibles deslizamientos mencionados, coincide con un saliente del relieve submarino de la isla, que tiende a ajustarse al de una estructura circular (fig. 29) similar a las descritas antes. La profundidad del fondo marino es de 45 m a 11 km de la costa, cuando lo normal a esa distancia son profundidades de 500- 1000m. No sería de descartar la existencia pues de un antiguo edificio análogo a los otros de la Serie I pero, mientras no existan más datos, creemos que debe dejarse sólo como una posibilidad.

El otro relieve submarino de Fuerteventura que no se ajusta a la pauta de edificios circulares y que ya comentamos al hablar del Edificio Central, es la prolongación submarina hacia el SE del ángulo suroriental de la isla. La alineación de este relieve submarino con la dirección de los diques del Edificio Central Inferior hace pensar que tal vez pueda existir una relación entre ambos y que, para esa Serie I Inferior, se superponga un edificio circular con una pauta triple como ya mencionamos.

El istmo de la Península de Jandía podría responder a un fenómeno similar que, de no ser así, no tiene sentido. Una simple pauta circular de la Serie I Inferior en Jandía superpuesta a otra circular del Edificio Central daría posiblemente un surco

profundo análogo al que observamos entre Jandía y el Edificio de Amanay o entre éste y el de El Banquete (fig.11).

La zona plana que une el Edificio Jandía con el Edificio submarino de El Banquete y la ausencia correspondiente de surco, sugiere una unión similar. La profusión de diques en la punta de Jandía, de dirección N 40°-50° E, justamente la misma que la de la unión de los dos edificios son un apoyo a esta idea. La dirección N 40°-50° E es aquí la misma que la de la unión Edificio Jandía - Edificio Central. Incluso en la forma del Edificio de El Banquete se observan otras dos direcciones morfológicas (N 170° y N 280°) que pudieran tal vez señalar también la presencia de pautas triples a la vez que radiales.

Hacia el Norte el relieve submarino de Fuerteventura se prolonga subparalelo a la costa africana (fig. 31), en primer lugar en Lanzarote, donde tradicionalmente se distinguen dos macizos: el de Ajaches al SW de la isla y el de Famara al NE y que quizás pudieran corresponder a otros dos edificios circulares. Más al Norte continúa en el complejo volcánico submarino del Banco de La Concepción, del que su parte más septentrional (por encima de los 30°-31° de latitud) es de caracteres sedimentarios, pero el resto es volcánico (Luyendyk y Bunce, 1973; Uchupi et al., 1976; Weigel et al., 1978; Dañobeitia, 1988; Dañobeitia y Colette, 1989). Pudiera tratarse, pues, de un "rosario" de edificios volcánicos alineados según esa dirección.

Esta alineación constituye la rama oriental de la denominada "Dorsal Canaria", en la que se distinguen tres ramas subparalelas de dirección general aproximada N 50° (Dañobeitia, 1988; Dañobeitia y Colette, 1989) (fig. 29).

2.6.1.1.- Los depósitos de origen volcánico del sondeo 397 del DSDP

En 1976 se efectuó el sondeo 397 del DSDP, situado a 100-150 km al Sur de Gran Canaria y Fuerteventura a 26° 50,7' N y 15° 10,8' W y 2900 m de profundidad, en el canal submarino del Sur de Canarias (fig. 31). Sus conclusiones vulcanológicas fueron publicadas por Schmincke y Von Rad (1979). Los datos expuestos hasta aquí permiten reinterpretar o precisar sus interpretaciones.

A lo largo del sondeo se encuentran varios niveles volcánicos de los que los más superficiales, interpretados como procedentes de Gran Canaria o Tenerife, no son de interés para este trabajo.

Los depósitos, interpretados por Schmincke y Von Rad (1979) como procedentes de Fuerteventura o Lanzarote, son un nivel de cenizas vítreas alteradas (A23) y cuatro depósitos de debris flow (V1, V2, V3 y V4, de más reciente a más antiguo). Al primero se le asigna una edad de 19,3 Ma por criterios estratigráficos y a los otros cuatro entre 17,6 Ma para V4 y 17,2 Ma a 16,5 Ma para V3, V2 y V1. Por su mayor densidad, estos depósitos (sobre todo V1 y V3 que son los que tienen varios metros de espesor) constituyen reflectores sísmicos por lo que se ha podido seguir su distribución y comprobar que cubren una extensión de 2000 km², con una longitud de 220 km y un ancho de 5 a 25 km.

El primer depósito (A23) ha sido interpretado como una toba de caída traquítica, que procedería, a partir de las edades que se conocían cuando se publicó el trabajo de Schmincke y Von Rad (1979), de Fuerteventura o de Lanzarote. Si observamos su edad (19,3 Ma) podemos ver que es análoga a la de las tobas traquíticas situadas en el contacto entre el Edificio Sur Inferior y el Intermedio, que se sitúa entre los 20,7 Ma (edad del dique datado por Feraud, (1981) y que posiblemente es la edad de la Serie I Inferior) y la edad de las primeras coladas de la Serie I Intermedia datada en 17 Ma (fig.26 y Tabla 1). Existen pues tobas traquíticas en la zona de la isla más próxima al sondeo y con una edad equivalente, por lo que, tal vez, sería posible establecer una correlación.

Los depósitos de debris flow, podrían proceder también de Fuerteventura o del edificio sumergido de El Banquete. En los depósitos V3, V2 y V1 aparecen fragmentos de microgabros que son interpretados por Schmincke y Von Rad (1979) como procedentes del Complejo Basal y sólo en el V1 aparecen olivinos iddingsitizados, que son interpretados como signo de actividad subaérea. Por su edad, estos depósitos son coincidentes con momentos importantes de actividad en el Edificio Sur (Edificio Sur Intermedio, tramo bajo) siendo más confusa su correlación con el Edificio Central.

Si aceptamos que los fragmentos de microgabros proceden del Complejo Basal, éste ya debería estar en superficie en ese momento. Por otro lado, hemos señalado que tanto la Serie I Superior como las Formaciones Melindraga y Tamacite del Edificio Central se apoyan directamente sobre el Complejo Basal, lo que indica que ya estaba siendo erosionado cuando se depositaron estas unidades. Podríamos pues correlacionar dichos depósitos de debris flow con el final de la Serie I Intermedia (fig.27). Las edades radiométricas, aunque confusas para esa serie, coincidirían con las deducidas en el sondeo.

2.6.2.- DIMENSIONES, VOLÚMENES Y ESPACIADO DE LOS EDIFICIOS

En la Tabla 2 se comparan las principales características geométricas de los distintos edificios. El Edificio Ajaches de Lanzarote es del todo comparable con los de Fuerteventura, pero no el de Famara, ya que, aún teniendo un significado geológico similar, su edad más joven (10 Ma, Ibarrola et al.,1989 y Coello et al.,1992) y su estructura poco conocida hoy día, no hacen aconsejable la comparación.

Sobre todas las medidas se pueden plantear razonables dudas, pero creemos que constituyen buenas aproximaciones. Los diámetros submarinos se han tomado a partir de la zona donde empieza a marcarse la individualidad de cada edificio. Los diámetros subaéreos son los calculados en los apartados correspondientes y, una aproximación, en el caso de Ajaches. La altura es la que corresponde a una pendiente de 7°.

El volumen se ha calculado suponiendo una forma cónica para los edificios subaéreos. Para los submarinos, se ha calculado la de un tronco de cono. La base del edificio submarino se ha situado a 1500 m de profundidad para los Edificios Amanay, El Banquete y Jandía y a 1200 m para el resto. Como en el caso de los diámetros se ha tomado el sector donde se individualizan morfológicamente los edificios,

considerando que el resto es una elevación general de la zona. Ello implica pendientes submarinas del orden de 15° a 25°.

Tabla 2.- Características geométricas de los Edificios del entorno de Fuerteventura.

	Diámetro submarino (km)	Diámetro subaéreo (km)	Altura (km)	Volumen Total (km ³)	Volumen Subaéreo (km ³)	% Diámetro Subaéreo	Distancia (km)
Amanay	29	-	-	330	-	-	30-39
El Banquete	28	-	-	310	-	-	30-30
Sur (Jandía)	34	26	1,6	1350	280	21	30-38-39
Central	49	42	2,6	3150	1200	38	23-38
Norte	43	38	2,3	2420	870	36	23-43
Ajaches	28	18	1,1	600	90	15	43-40

Es evidente que dentro de ese volumen parte son materiales submarinos, otros subaéreos, otros plutónicos del Complejo Basal y sedimentos. Éstos últimos hacen que el volumen calculado no sea en su totalidad material magmático. Sin embargo, es razonable suponer que exista proporcionalmente en todos los edificios a distintas profundidades, por lo que las comparaciones entre ellos creemos que pueden ser válidas.

El mayor edificio es el Central, seguido de los Edificios Norte y Sur de Fuerteventura. Los dos submarinos, de Amanay y El Banquete, pueden compararse en volumen, al de Ajaches. El volumen de material subaéreo representa, razonablemente, un porcentaje cada vez mayor a medida que el edificio aumenta de tamaño.

Para la parte subaérea de los edificios en los que la extrapolación es menor, algunos de los materiales pertenecen al Complejo Basal por lo que el volumen de productos volcánicos de la Serie I sería menor que el calculado. Sin embargo, buena parte de estos fueron erosionados en las pausas entre ciclos, con lo que se compensaría, al menos parcialmente, el efecto anterior.

Para esos volúmenes y períodos de construcción supuestos continuos, tendríamos:

- En el Edificio Sur: período de construcción mínimo: 7 Ma (21-14 Ma), volumen: 280 km³, tasa de emisión: 0,04 km³/ka.

- En el Edificio Central: período de construcción mínimo 7 Ma (22-15 Ma), volumen: 1200 km³, tasa de emisión mínima: 0,17 km³/ka.

- En el Edificio Norte: período de construcción mínimo: 5 Ma (17-12 Ma), volumen: 870 km³, tasa de emisión mínima: 0,17 km³/ka.

Estos valores son algo inferiores a los calculados para la Serie I de Tenerife (0,25-0,5 km³/ka, Ancochea et al., 1989), similares a los de la Serie de Basaltos Antiguos de Gomera 0,05 km³/ka y muy inferiores a los de la Serie I de Gran Canaria

(Schmincke, 1981) e incluso a las tasas de erupción calculadas para la actividad volcánica histórica en el conjunto del archipiélago ($0,3 \text{ km}^3/\text{ka}$, Ancochea et al., 1989). Ello puede deberse, por un lado, a que realmente el volumen haya sido mayor, pero seguramente, a que el lapso de tiempo supuesto en el cálculo incluye lógicamente períodos de actividad pero también de pausa.

La distancia entre cada edificio y los contiguos es bastante homogénea (ver Tabla 2) con un valor medio de 34 km.

Vogt (1974) analiza el espaciado de volcanes en límites de placa convergentes, divergentes y puntos calientes, estableciendo que el espaciado entre volcanes es, a grandes rasgos, similar al espesor de la litosfera. Lo interpreta en términos de mallas de fracturación en cuyas intersecciones se formarían los edificios volcánicos y cuyo espaciado sería reflejo del espesor de la litosfera. Mohr y Wood (1976) analizan desde el mismo punto de vista el rift oriental africano, encontrando una relación similar, sin apreciar que exista condicionante alguno en la distribución de los edificios por parte de la fracturación preexistente. El espaciado sería aquí similar al del Gregory Rift o al del Rift Etíope.

Independientemente del valor absoluto del espesor que pueda atribuirse a la litosfera en esta zona a partir de estos espaciados entre edificios, la mucha menor distancia entre éstos en comparación con los espaciados entre las islas centrales y occidentales del archipiélago debería ser, aplicando los argumentos de Vogt (1974), reflejo de un menor espesor litosférico para este sector.

2.6.3.- FRACTURACIÓN Y FASES TECTÓNICAS

El tema de la importancia o incluso de la propia existencia de tectónica en Fuerteventura ha estado presente en los trabajos sobre la isla desde antiguo como hemos mencionado en el apartado de antecedentes. En relación con esa tectónica y con la Serie I se han citado dos casos tipo: la pared de Jandía y la Depresión Central de la isla.

Con respecto a la primera ya hemos manifestado nuestra opinión de que se trata en origen de un deslizamiento hacia el Norte. El escarpe original habría retrocedido por la erosión marina acentuada por la existencia de diques que han favorecido el despegue y han condicionado el que la costa en el sector oriental adquiera una marcada dirección N 40° - 50° E, la de los diques.

Hausen (1958), retomando ideas de Bourcart y Jeremine (1938) admite la existencia de fallas con hundimiento hacia el Norte para justificar la costa septentrional de Jandía. Lo mismo hace (al igual que Bravo, 1964) para explicar el origen de la Depresión Central. Fúster et al., (1968) comentan que no han encontrado pruebas de grandes fallas con saltos de centenares de metros y suponen un basculamiento de la Serie I.

La valoración de la intensidad y naturaleza de la tectónica se sale de los objetivos fundamentales de este trabajo. Sin embargo sí creemos conveniente resaltar algunos aspectos, en especial sobre su existencia e importancia.

En el caso de Jandía acabamos de señalar que no es necesario, en nuestra opinión, recurrir a la tectónica para justificar la costa Norte de la península. Ello no quiere decir que no exista tectónica, al contrario, incluso en foto aérea se insinúan fracturas cuyo significado es necesario comprobar. Así por ejemplo, es muy posible que los cuchillos occidentales de la península de Jandía acaben en su parte más baja (Sur) en unas fracturas de dirección N 120°. Fracturas análogas se observan con frecuencia, sobre todo en los niveles de la Serie I más bajos estratigráficamente.

En los Edificios Central y Norte, en su contacto con la Depresión Central, hay datos que indican la presencia de fallas:

- En primer lugar, la existencia de cuchillos en semicírculo en lugar de aparecer en el círculo completo del edificio antiguo.

- En segundo lugar, el que esos cuchillos acaben bruscamente al llegar a la depresión central y haciéndolo a lo largo de lo que más o menos es una recta.

- En tercero y fundamental, el que las rocas en la zona de la depresión central aparezcan totalmente cataclastizadas. También en la prolongación tierra adentro de la costa NW de Jandía, en la zona de las Hermosas las rocas de la Serie I Inferior están totalmente cataclastizadas. Por último la linealidad de los límites morfológicos Sur y oriental del Complejo Basal es otro argumento en favor de la existencia de una importante fracturación.

Más difícil resulta valorar el posible salto de las fracturas. Topográficamente se trata de una depresión, sin embargo, si nos fijamos en el borde meridional y oriental de la misma, no existe un salto estratigráfico apreciable. Es decir, la Serie I Superior no se encuentra hundida en la depresión Central como cabría esperar de una falla normal.

El otro borde de la depresión, el que limita el Complejo Basal, sí es posible que éste levantado. En cualquier caso la propia presencia de series submarinas indica ya esta elevación, pero no necesariamente un hundimiento de la zona central.

La notable inclinación de la Serie I Inferior del Edificio Central, que no es sin duda la original; y la menor, pero también elevada, de la Serie I Intermedia parece indicar igualmente la existencia de una elevación de la zona donde se sitúa el Complejo Basal.

La falta de cuchillos de Serie I en el lado occidental de la isla, señala también que en la parte terrestre éstos debieron ser elevados y erosionados y en la marina, posiblemente hundidos. Es decir, que ha habido fallas con movimiento importante en la vertical. La mayor facilidad de alteración de la zona triturada por la fracturación pudo ser, tal vez, la causa de una mayor velocidad de erosión en ella y de la generación de la depresión.

La fracturación que afecta a la Serie I es de tal entidad que no puede ligarse a un fenómeno local relacionado con la evolución de un edificio concreto, sino que debe haber afectado a toda la isla y a todo el área. Ello implica que han debido existir varias fases tectónicas.

Para poder situar temporalmente dichas fases, es necesario localizar en el tiempo los fenómenos que han podido estar relacionados con esa tectónica. En este sentido conviene situar discordancias, paleorelieves, momento de llegada a superficie del Complejo Basal y episodios destructivos bruscos que puedan estar relacionados con elevación de la isla, etc.

El que la Serie I Inferior del Edificio Central esté más inclinada que la Serie I Intermedia y que además en sectores, como la zona de Las Hermosas, esté mucho más tectonizada, indica la existencia de un evento tectónico importante entre esas dos Series. Hay que destacar aquí la existencia de una formación brechoide "tipo Ampuyenta" justamente en el contacto entre ambas unidades que podría estar reflejando esta tectónica. La inclinación de la Serie I apoya la idea de una elevación hacia la zona donde se encuentra el Complejo Basal.

Sería esta pues una **primera fase** tectónica dentro de la Serie I. El problema es situarla en el tiempo. Si la argumentación dada en el capítulo de geocronología sobre la edad de estas series es correcta, tendríamos una fase previa a los 22 Ma. (fig.27). Su reflejo en los Edificios Norte y Sur sería, por ahora, no valorable con claridad.

La existencia de una nueva discordancia angular entre Serie I Intermedia y Superior del Edificio Central, en la que la primera de las dos aparece más inclinada de lo esperado para una serie de ese tipo y el que la Serie I Superior se apoye en el sector de Cardones directamente sobre Complejo Basal indica una **segunda** fase tectónica que se situaría entre los 20 (ó 18) Ma (fig.27) y los 16 Ma. Coincidirían con ella los niveles de debris-flow del sondeo 397 que tal vez puedan estar indicando una movilidad en la zona. El que en dicho sondeo empiecen a aparecer los fragmentos de microgabros, indicando que las rocas plutónicas del Complejo Basal están siendo erosionadas, está también de acuerdo con situar en ese momento una segunda fase.

En el Edificio Sur se produce entonces (entre 19,3 y 17 Ma, fig.27) la discordancia entre Edificio Inferior y el Intermedio. En el Edificio Norte, aunque más confuso, nos encontramos para ese período la separación, dentro del Edificio Norte Inferior, del tramo medio (muy tectonizado) y el alto, prácticamente sin deformación.

En el sondeo 397, no sólo aparecen depósitos de debris flow de origen volcánico, sino que tanto estos como los de caída, de 19,3 Ma, están intercalados en series sedimentarias donde predominan (hasta el 90%) los componentes autóctonos y que son interpretados por Arthur y Von Rad (1979) como posiblemente debidos a sismicidad, relacionada con elevación de los edificios canarios o con eventos tectónicos del Atlas.

El análisis de las discordancias mencionadas pone de manifiesto además lo que es, a nuestro entender, un hecho muy importante para la comprensión de la evolución de las islas. Esto es, que la importante discordancia, pausa de actividad y período de arrasamiento, que todos los autores anteriores sitúan entre Complejo Basal y Serie I, se sitúa realmente entre Complejo Basal y Serie I Superior del Edificio Central o entre Complejo Basal y Formaciones Melindraga y Tamacite.

La Serie I Inferior (y por lo tanto, la Serie I), se apoya sobre la Serie Submarina del Complejo Basal, siendo con mucha frecuencia su contacto, mecánico. La existencia de una discordancia entre Serie I Inferior y Serie Submarina del Complejo Basal y su

importancia desde el punto de vista temporal es un tema a estudiar en un futuro, pero desde nuestro punto de vista pudiera incluso, en muchos puntos, pasarse gradualmente de una a otra.

Más difícil resulta la comprobación de la existencia de un tercer período tectónico, con el que podría estar relacionado por ejemplo la propia Formación Ampuyenta.

2.6.4.- LINEACIONES ESTRUCTURALES

El tema de las lineaciones estructurales en Canarias ha sido objeto de estudio de diferentes autores, entre otros: Hernández Pacheco e Ibarrola (1973), Anguita y Hernán (1975), Fúster (1975), Hernández Pacheco (1979), Feraud et al. (1985), etc. En Fuerteventura Hernández Pacheco e Ibarrola (1973) citan diferentes lineaciones: N 20°; N 45°; N 75° y N 135° como más frecuentes, basándose bien en direcciones de diques, bien en alineaciones de centros de emisión recientes o incluso de islas. La dirección principal NNE-SSW sería la de la malla de diques del Complejo Basal y consecuentemente la principal dirección en la evolución de la Isla.

Para la Serie I ya hemos visto que los diques marcan esencialmente pautas radiales, pero que en algún caso parecen superpuestas a otras triples. La más evidente, o tal vez la única, está en el Edificio Central, donde esa pauta triple está definida por la dirección de los diques del Complejo Basal, la de los diques N 135° E en el sector de Gran Tarajal-La Entallada y la N 45°-50° del SW del edificio e Istmo de la Pared.

En la fig. 30 podemos ver la situación de los centros principales calculados en los Edificios de Fuerteventura y en los montes submarinos. El Edificio Central y el Norte definen una alineación N 15° E que es la dirección principal de distensión de la isla en el Complejo Basal y también la dirección de la rama norte de la depresión central de la Isla. Además, la prolongación hacia el Norte la une con otro posible edificio circular, el macizo de Ajaches de la Serie I de Lanzarote.

Por su parte, el Edificio Sur y el Central definen otra alineación: N 230°-235°, con la que se une el Edificio submarino de El Banquete y con la que coinciden las direcciones de los diques del istmo y de las Series I Inferior de los dos Edificios en ese área. La costa NE de Jandía, el borde meridional del relieve levantado del Complejo Basal y la propia depresión central en su rama Sur, tienen esa misma dirección.

La tercera rama de la unión triple es la N 135° E de los diques de La Entallada-Gran Tarajal y posiblemente del relieve submarino del SE de la Isla. Nos encontramos pues con un sistema triple en donde las dos ramas más desarrolladas son la N-15° y la N-235° (N 50°-55°), habiéndose desarrollado a lo largo de ella varios edificios circulares. En la primera los Edificios Central, Norte de Fuerteventura y Ajaches en Lanzarote, en la segunda el Central, el Sur y El Banquete. En la unión de las dos ramas y de una tercera abortada se formó el Edificio Central, el mayor de todos volumétricamente y donde el Complejo Basal adquiere su mayor importancia.

La unión del Edificio Ajaches con el de Famara, al N de Lanzarote, supondría un nuevo giro hacia una nueva dirección similar a la primera (N 235°).

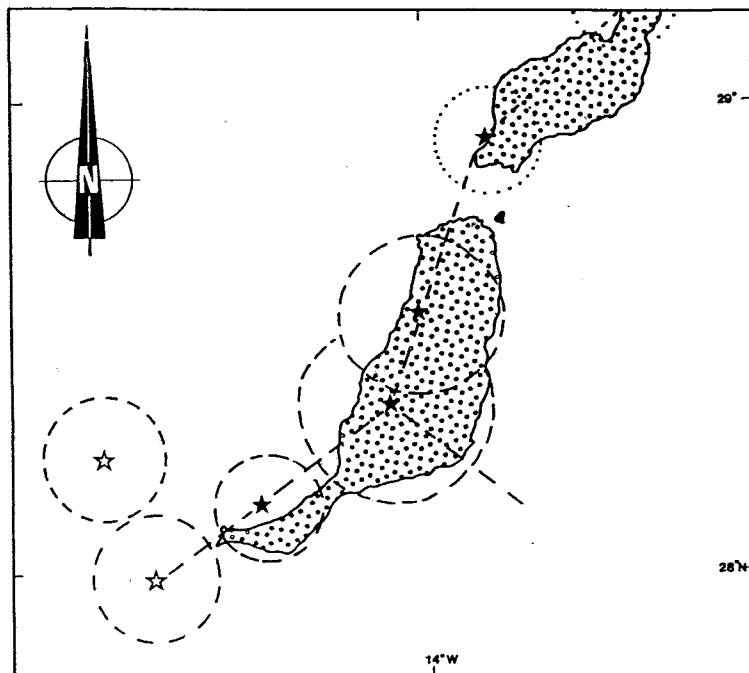


Figura 30.- Alineaciones principales de Fuerteventura, puestas de relieve por alineaciones de edificios de la Serie I y de edificios submarinos. Por su similitud se incluye también el edificio de Ajaches de Lanzarote.

Feraud et al. (1985) indican para Canarias que las directrices de los diques son el resultado de la superposición de direcciones regionales con campos de esfuerzos locales. En Fuerteventura sólo identifican una posible pauta radial en Jandía aunque partiendo de una interpretación incorrecta ya que mezclan diques de diferentes edificios (Edificio Sur Inferior, 20,7 Ma y Edificio Sur Superior 15,4-14,2 (12 Ma)).

Este planteamiento en líneas generales parece el adecuado para Fuerteventura. Las directrices regionales estarían marcadas por las alineaciones de grandes edificios, coincidentes con las de diques principales y, en el caso del Complejo Basal, con la dirección principal de extensión marcada por esos mismos diques. El campo de esfuerzos local, condicionado por la formación de cada edificio concreto sería esencialmente radial.

Feraud et al. (1985) señalan la coincidencia temporal de diques del Complejo Basal y de la Serie I. La persistencia de las direcciones en el Complejo Basal indica que las directrices regionales debieron ser similares también en momentos anteriores a la formación de la Serie I.

El cambio de dirección en la extensión principal se produce en la zona donde surge el Edificio Central, es decir, hacia el sector de Pájara-Toto.

Nuestro estudio se ha limitado a la Serie I y, por tanto, a los diques que encajan en ella. Es evidente que esos mismos diques, como indican Feraud et al. (1985), han

de aparecer en el Complejo Basal y con gran intensidad, al ser el área de convergencia del edificio. Como hemos indicado es muy posible además que esas mismas directrices fueran activas en momentos anteriores a la Serie I. De ser así las direcciones de diques del Complejo Basal variarían de N 15° aproximadamente, al N de! área de Pájara, a N 230°-235° (N 50°-55°) en el Sur de ese área.

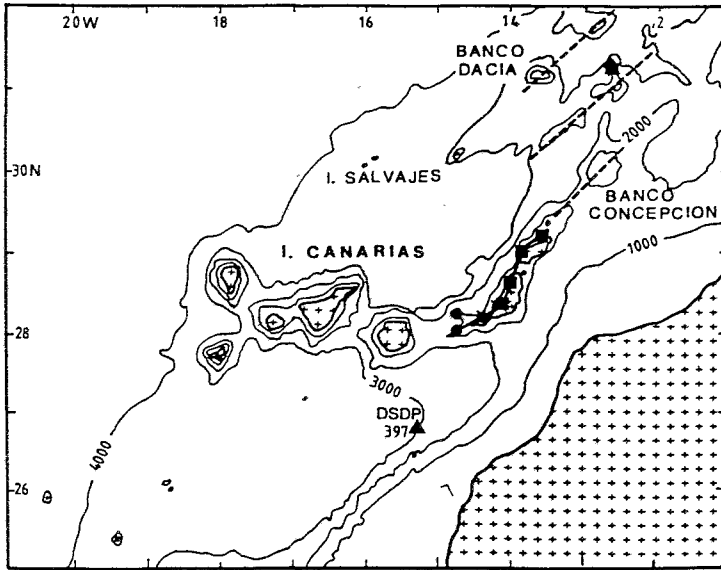


Figura 31.- Esquema general del Archipiélago Canario y zonas próximas, modificado de Dañobeitia y Colette (1989). La equidistancia de las isobatas es de 1000 m. **Triángulo:** Posición del sondeo del D.S.D.P. 397. **Rayas discontinuas:** ramas de la dorsal canaria. **Cuadrados negros:** Edificios submarinos de El Topete (TP.) y Complutense (CO.). **Círculos negros:** Edificios del sector de Fuerteventura - Lanzarote. **Línea negra:** rift de Fuerteventura-Lanzarote.

2.6.5.- MODELOS DE CRECIMIENTO

Para los edificios canarios se han propuesto modelos de crecimiento similares a los de Hawaii (MacDougall y Schmincke, 1976). El modelo para la isla de Hawaii (Stearns, 1940; MacDonald y Katsura, 1964; MacDonald, 1968) consta de una fase de escudo (en la que se distingue un período submarino y otro subaéreo) durante la cual se formaría del 95 al 98 % del edificio, en un tiempo del orden de 1 Ma (Jackson et al. 1972) o de 0,2 Ma (Wright et al., 1979). Su composición sería toleítica y acabaría habitualmente con la formación de una caldera. La fase post-escudo sería de composición alcalina y formaría una pequeña zona en lo alto de los edificios o en la caldera, siendo el volumen inferior al 1% del total. Tras un período de algunos millones de años de quiescencia y erosión vendría la fase posterosiva o fase alcalina de rejuvenecimiento, con magmas muy pobres en SiO₂, en centros de emisión aislados. Algunos autores como Peterson y Moore (1987) detallan más el esquema, distinguiendo nuevas fases.

Este modelo parece que puede ser aplicado (con reservas) a Gran Canaria (MacDougall y Schmincke, 1976; Schmincke, 1981), pero no generalizarse para el archipiélago, ni para Gomera, ni para Tenerife (Ancochea et al., 1990), ni para Hierro (Fúster et al. 1993), ni para La Palma (Ancochea et al. en prensa).

En el caso de Fuerteventura y en lo referente al vulcanismo subaéreo, las Series II, III y IV podrían equipararse a la fase posterior o de rejuvenecimiento final, pero su duración es excesiva (5 millones de años) y con pausas importantes dentro de ella (5 a 2,5 Ma).

Las nefelinitas olivínicas y rocas fuertemente alcalinas (tanto en el Edificio Central como en el Sur) podrían también estar representando ese período de rejuvenecimiento o más bien la fase más alcalina post-escudo. La fase de escudo debería representar la Serie I en su conjunto.

Podríamos pues decir que desde un punto de vista muy general, el modelo sería similar. Sin embargo, al entrar en el detalle, las diferencias son enormes. Fundamentalmente son debidas a que cada Edificio de Serie I tiene una historia compleja, con distintos ciclos, en los que tal vez pudieran a su vez distinguirse fases.

La diferencia puede ser debida o reflejar el que, mientras en Hawaii la existencia de una placa moviéndose sobre un punto caliente evidencia la migración de la actividad, en Canarias no existen pruebas de esa migración, sino todo lo contrario (ver Anguita y Hernán, 1975). En Hawaii cada edificio tiene una evolución sencilla con un principio y un final mientras que en Fuerteventura la actividad se prolonga notablemente en el tiempo, con sucesión de períodos de actividad, de pausa y reactivaciones y con existencia de fases tectónicas que pueden alterar bruscamente la evolución de los edificios.

3.- COMPOSICIÓN DE LA SERIE I

3.1.- TIPOS ROCOSOS

La caracterización de tipos rocosos se basa en el estudio petrográfico de más de 1.000 láminas delgadas en parte recolectadas durante la ejecución de este proyecto (unas 300) y también las pertenecientes al archivo del Dpto. de Petrología y Geoquímica de la U.C.M. Se ha procurado adoptar la nomenclatura propuesta por la I.U.G.S. utilizando los términos basalto, traquibasalto, traquiandesita basáltica, traquiandesita y traquita en orden de evolución. La gran abundancia y diversidad de los primeros hace necesario distinguir subtipos. Así, hemos considerado:

- Sin fenocristales: **Basalto afanítico.**
- Hasta 20% de fenocristales: **Basalto:** Se usa como calificativo el nombre de los fenocristales en orden de abundancia.
- Entre 20 y 30% de fenocristales: **Basalto picrítico:** $Ol \geq Px$.
Basalto ankaramítico: $Px > Ol$ u Ol algo mayor que Px .
- Más del 30% de fenocristales: **Oceanita:** $Ol \geq Px$.
Ankaramita: $Px > Ol$ u Ol algo mayor que Px .

- **Basalto plagioclásico** se utiliza cuando la plagioclasa es el fenocristal mayoritario, independientemente de la cantidad del mismo, ya que no existen denominaciones que puedan reflejar su abundancia total. Se describen además, por primera vez en Fuerteventura, **nefelinitas olivínicas**.

Se han resumido las características petrográficas por series y edificios, procurando hacer además un análisis estadístico tanto de los tipos petrográficos que aparecen, como del contenido y naturaleza de los fenocristales. El análisis puede considerarse representativo si exceptuamos las rocas sálicas, ya que éstas, aún siendo muy escasas y por tanto en cierto modo "curiosidades" dentro de los edificios, hayan sido más muestreadas y estén en la realidad en menor proporción que la que se obtiene en la estadística. Un esquema de los resultados lo constituye la figura 2.

3.1.1.- EDIFICIO NORTE

3.1.1.1.- Edificio Norte Inferior

Petrográficamente son muy diferentes los distintos tramos. El tramo inferior está formado por basaltos, en general olivínico-piroxénicos o plagioclásicos. El olivino en cristales idiomorfos o subidiomorfos aparece, muy alterado a serpentinas, cloritas,

mineral de hierro y talco. El piroxeno es una augita titanada, zonada. La plagioclasa aparece tanto en fenocristales como intersticial y está siempre muy alcalinizada.

El tramo intermedio está compuesto esencialmente por ankaramitas, oceanitas y algún término traquiandesítico. El olivino es el fenocristal más abundante y está fresco o alterado a minerales de hierro y talco. El piroxeno es augita muy titanada y la plagioclasa aparece en general en forma de microlitos.

El tramo alto o **Formación Oliva-Lajares** está compuesto en su mayoría por basaltos (71.5%), con frecuentes términos más evolucionados (traquibasaltos y traquiandesitas) (fig.32). Una aproximación, a partir del número de muestras estudiadas, da los siguientes porcentajes de tipos petrográficos:

TIPOS PETROGRÁFICOS	%
Basaltos Picríticos	14,3
Basaltos Plagioclásicos	21,4
Basaltos Oliv.-Pirox.	21,4
Oceanitas	7,1
Basaltos Afaníticos	7,1
TOTAL Basaltos	71,5
Traquibasaltos	21,4
Traquiandesitas	7,1

Los basaltos son, en general, muy porfídicos siendo el olivino o la plagioclasa el fenocristal más abundante. El olivino aparece normalmente fresco o alterado en los bordes a mica verde o a iddingsita. La plagioclasa está fresca, maclada, a veces aparece formando glomérulos y ocasionalmente zonada. El piroxeno suele estar maclado, pero no zonado y es de composición augítica escasamente titanada. Destaca la presencia de flogopita intersticial en varias de las rocas. Esta característica, poco frecuente en las rocas de Fuerteventura, se observa en la roca de Tostón-Cotillo datada por Abdel-Monem et al. (1971) y Coello et al. (1992) lo que apoya la idea, ya comentada, de que se trata de la misma unidad.

Las distintas características petrográficas del tramo medio y del tramo alto favorece la hipótesis de que se trate de unidades diferentes.

Rocas Traquíticas.

Las rocas de Montaña Tindaya son cuarzotraquitas, constituidas fundamentalmente por cristales idiomorfos a alotriomorfos de feldespato alcalino entre los que existe hasta un 5% de cuarzo alotriomorfo e intersticial. En los afloramientos de Tebeto las rocas, también cuarzotraquitas, presentan una textura porfídica fluidal marcada, muy diferente a la de las rocas del interior de Tindaya; razón que utilizan Cubas et al. (1989) para establecer su carácter de colada. Las cuarzotraquitas de Tindaya están profundamente afectadas por una alteración según múltiples planos

por donde la roca se ha impregnado de óxidos de manganeso (pirolusita) y de hierro. Estos componentes a veces rellenan las diaclasas, dando configuraciones muy espectaculares.

3.1.1.2.- Formación Ampuyenta

Los **fragmentos** incluidos en el aglomerado Ampuyenta son de todo tipo: basaltos ankaramíticos, olivínicos, plagioclásicos, en general no muy alterados. También aparecen fragmentos de traquibasaltos, traquiandesitas e incluso traquitas.

Las **coladas** intercaladas son pahoehoe muy vesiculares y amigdalares, a veces basaltos ankaramíticos con distintas proporciones de olivino y otras, la mayoría, basaltos plagioclásicos-olivínicos en los que el olivino está muy alterado. La mayor parte de las amígdalas están rellenas de ceolitas.

3.1.1.3.- Edificio Norte Superior (Tramo Bajo)

Las dos características fundamentales de las rocas de este Edificio son: la abundancia de basaltos plagioclásicos y la abundancia de tipos más diferenciados (traquibasálticos y traquiandesíticos) (fig.32). Más del 60% de las rocas son basaltos, con presencia de diferentes tipos. La mayoría (más del 50%) son plagioclásicos, siguiéndole en abundancia los tipos olivínicos y con menos frecuencia los piroxénicos. Las proporciones de los distintos tipos petrográficos son:

TIPOS PETROGRÁFICOS	%
Basaltos Olivínicos	24,1
Basaltos Piroxénicos	5,7
Basaltos Plagioclásicos	32,9
TOTAL Basaltos	62,7
Traquibasaltos	19,6
Traquiandesitas Basálticas	8,2
Traquiandesitas	9,5

La mayoría de los basaltos plagioclásicos suelen ser muy porfídicos (más del 25%), menos frecuentes son los tipos pocos porfídicos (menos del 10%). La plagioclasa es el fenocristal dominante (más del 40%) seguido del olivino y el clinopiroxeno.

El resto de los basaltos se diferencian únicamente en los fenocristales, que son exclusivamente de olivino y piroxeno, pues los de plagioclasa están subordinados en caso de que existan. (Contenido medio de fenocristales: Basaltos olivínicos: Ol.:77%; Cpx.:15%; Plag.:8%; Basaltos piroxénicos: Cpx.:80%; Ol.:10%; Plag.:10%).

Las rocas traquiandesíticas y traquibasálticas tienen en general pocos fenocristales (un 2%). Son rocas holocristalinas porfídicas de matriz micro a criptocristalina, fundamentalmente feldespática, con piroxeno y opacos; a veces con

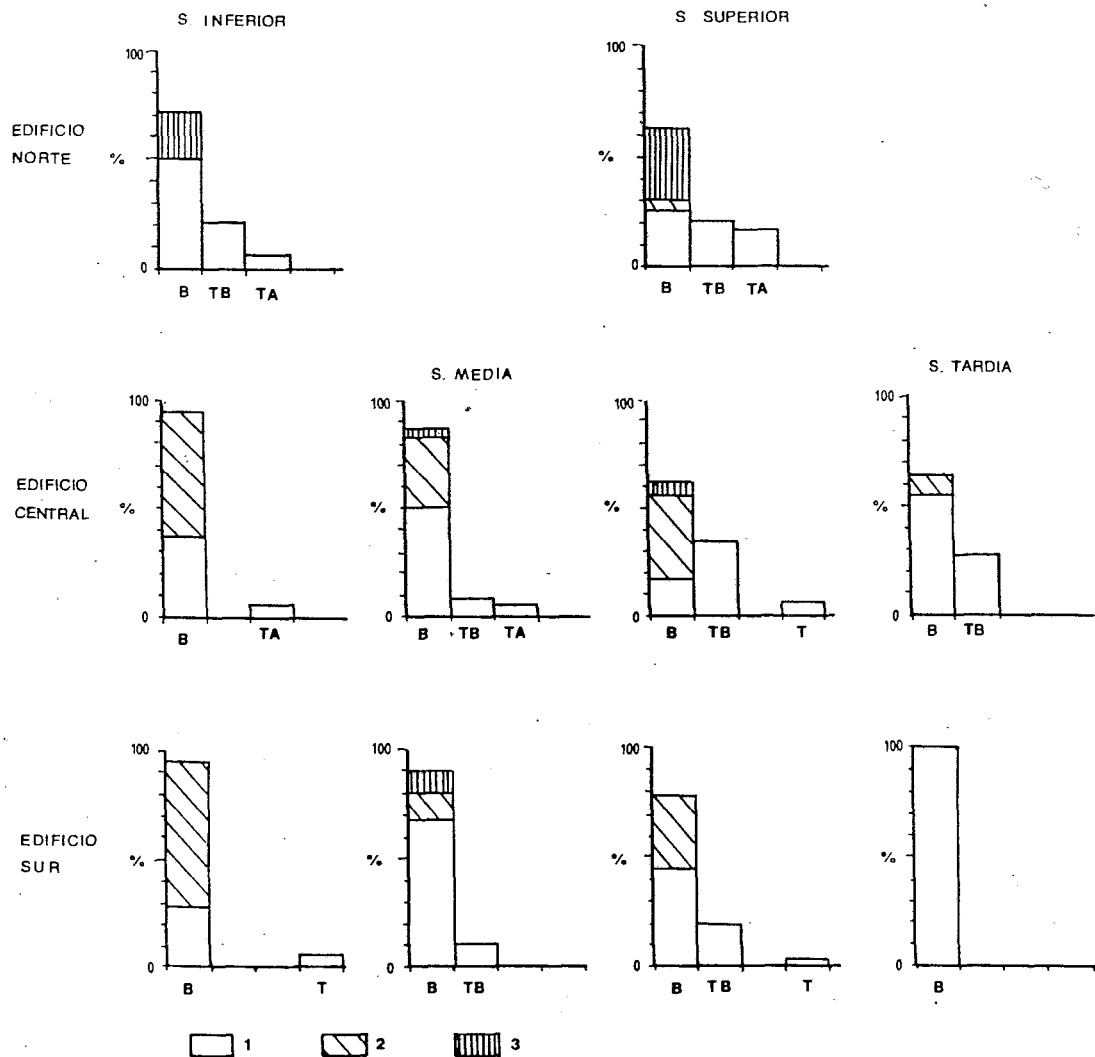


Figura 32.- Proporciones de los distintos tipos petrográficos por edificios y series. 1.- Basaltos con olivino como fenocristal dominante o no basaltos. 2.- Basaltos con clinopiroxeno como fenocristal dominante. 3.- Basaltos con plagioclasa como fenocristal dominante. B: Basaltos. TB : Traquibasaltos. TA : Traquiandesitas. T: Traquitas.

carácter fluidal. Los fenocristales son de feldespato, clinopiroxeno y en algún caso, de olivino iddingsitizado.

Se ha efectuado un corte petrográfico de detalle en la Atalaya a lo largo de 300 m de serie. En él se van sucediendo tipos diferenciados y basálticos sin que se observen tendencias evolutivas.

3.1.1.4.- Edificio Norte Superior (Tramo Alto)

Es de muy escasa entidad y está formado por basaltos olivínicos y traquibasaltos. Todas las rocas son holocristalinas porfídicas con pocos fenocristales (3 a 10%). En los basaltos olivínicos los únicos fenocristales presentes son de olivino. En los traquibasaltos existen fenocristales de piroxeno, plagioclasa y a veces olivino.

3.1.2.- EDIFICIO CENTRAL

3.1.2.1.- Edificio Central Inferior

Casi la totalidad de las coladas son basálticas (93%), acompañadas de algunas más diferenciadas de naturaleza traquiandesítica (7%). Entre los basaltos hay ankaramitas, basaltos olivínicos, basaltos olivínico-piroxénicos (los más abundantes), basaltos piroxénico-olivínicos y basaltos piroxénicos (también muy frecuentes). No se encuentran en cambio tipos anfibólicos, ni plagioclásicos, ni tampoco traquibasaltos o rocas traquíticas (fig.32). Las proporciones en las que aparecen los distintos tipos petrográficos son:

TIPOS PETROGRÁFICOS	%
Ankaramitas	7,1
Basaltos Ankaramíticos	14,3
Basaltos Oliv.-Pirox.	21,4
Basaltos Pirox.-Oliv.	7,1
Basaltos Olivínicos	7,1
Basaltos Piroxénicos	14,3
Basaltos Afaníticos	21,4
TOTAL Basaltos	92,9
Traquiandesitas	7,1

Todos los basaltos son de textura holocristalina, porfídica con matriz microcristalina. En general muestran un contenido muy escaso en fenocristales. La mayor parte presentan porcentajes no muy diferentes de olivino y piroxeno (entre el 60 y 40%), siendo unas veces uno y otras veces el otro máfico el dominante (proporciones medias de los distintos fenocristales en el conjunto de los basaltos: Ol.:42%; Px.:58%).



Esta serie plantea problemas de muestreo al estar los materiales muchas veces disgregados, por lo que, en este caso, los datos pueden ser menos representativos. De hecho, en el campo parece observarse mayor abundancia de tipos ankaramíticos que lo que el muestreo indica.

3.1.2.2.- Edificio Central Intermedio

En su gran mayoría está formado por basaltos con traquibasaltos subordinados. Las traquitas, cuyas características veremos por separado, podrían ser consideradas como de esta serie. Los tipos basálticos son muy variados, existiendo basaltos picríticos y olivínico-piroxénicos (35%), ankaramitas y basaltos ankaramíticos (20%) y en menores proporciones, oceanitas, basaltos oceaníticos, basaltos piroxénico-olivínicos y ocasionalmente, basaltos plagioclásicos y con anfíbol.

Al contrario de lo que ocurre en las Series I Inferior y Superior de este edificio, en ésta los tipos olivínicos son más abundantes que los piroxénicos (fig.32). Las

TIPOS PETROGRÁFICOS	%
Oceanitas	6,7
Ankaramitas	10,0
Basaltos Picríticos	16,7
Basaltos Ankaramíticos	6,7
Basaltos Oliv.-Pirox.	16,7
Basaltos Pirox-Oliv.	3,3
Basaltos Plagioclásicos	3,3
Basaltos Pirox-Anf.	6,7
Basaltos Olivínicos	6,7
Basaltos Piroxénicos	3,3
Basaltos Afaníticos	6,7
TOTAL Basaltos	86,7
Traquibasaltos	10,0
Traquiandesitas	3,3

proporciones de los tipos petrográficos son:

La cantidad de fenocristales en estas rocas es muy variable siendo frecuentes los tipos con un 20-30% de fenocristales. El olivino es el fenocristal más abundante, siguiéndole el clinopiroxeno y en mucha menor proporción la plagioclasa y el anfíbol. (Media: Ol.: 59%; Cpx.: 37%; Plag.: 3%; Anf.:1%).

3.1.2.3.- Edificio Central Superior

Lo más característico de las rocas de este Edificio es que, aún siendo los basaltos los términos más abundantes (61%), los tipos intermedios son más frecuentes que en otros edificios.

Entre los basaltos, los ankaramíticos y picríticos son los más frecuentes. Los tipos piroxénicos predominan sobre los olivínicos, al igual que en la Serie I Inferior. (fig.32). En proporciones los tipos petrográficos son:

TIPOS PETROGRÁFICOS	%
Basaltos Picríticos	5,6
Basaltos Ankaramíticos	27,8
Basaltos Plagioclásicos	5,6
Basaltos Olivínicos	11,1
Basaltos Afaníticos	11,1
TOTAL Basaltos	61,1
Traquibasaltos (Traquitas)	33,3 5,6

Dentro de los basaltos destaca la existencia de tipos ankaramíticos (20-30% de fenocristales) así como otros con fenocristales muy escasos. La mayoría de los fenocristales presentes son de olivino y piroxeno, aunque existen algunos tipos con plagioclasa. (Proporciones medias de fenocristales: Ol.: 54%; Px.: 34%; Plag.: 12%).

3.1.2.4.- Rocas Traquíticas.

Aparecen en los Morros de Pozo Negro y en el Bco. de la Torre. La roca de Los Morros de Pozo Negro es una traquita microcristalina formada por un conjunto de microlitos de feldespato alcalino, con disposición fluidal, entre los que se sitúan pequeños cristales aciculares de egrina y opacos como accesorios. En el borde del afloramiento la roca se hace fundamentalmente vítrea con pequeños cristallitos feldespáticos.

La traquita del barranco de la Torre presenta textura porfídica fluidal con aproximadamente un 2% de fenocristales, la inmensa mayoría de ellos (85%) de feldespato potásico y el resto de augita egrínica y anfíbol. La matriz es microcristalina de feldespato, con augita egrínica, opacos y anfíbol esporádico.

3.1.2.5.- Formaciones Locales

Globalmente los tipos petrográficos existentes son:

TIPOS PETROGRÁFICOS	%
Basaltos Picríticos	27,3
Basaltos Oliv-Pirox.	9,1
Basaltos Pirox-Oliv.	18,2
Nefelinitas Olivínicas	18,2
TOTAL Basaltos	72,8
Traquibasaltos	27,2

Las Formaciones de Tableros y Tamacite están formadas por escasas coladas de pequeño recorrido y de litología bastante uniforme, estando la primera constituida fundamentalmente por basaltos picríticos y la segunda por nefelinitas olivínicas.

La Formación de Melindraga es mucho más variada, con frecuentes tipos diferenciados traquibasálticos. Además existen picritas, basaltos olivínico-piroxénicos y basaltos piroxénico-olivínicos.

Las nefelinitas olivínicas son holocristalinas con textura porfídica. Los fenocristales son de olivino con algunos, muy escasos, de piroxeno, en una matriz de micro a criptocristalina formada por piroxeno, nefelina y opacos. El olivino es idio a subidiomorfo, estando a veces fracturado. El piroxeno está en cristales de pequeño tamaño, idio a subidiomorfos.

Las rocas traquibasálticas y traquiandesíticas son holocristalinas o afaníticas y escasamente porfídicas, con un 1% de fenocristales, que son fundamentalmente de clinopiroxeno y feldespato en menor cantidad. La matriz es microcristalina, está compuesta por feldespato, plagioclasa, piroxeno, opacos, a veces anfíbol o flogopita y con frecuencia clorita intersticial.

3.1.3.- EDIFICIO SUR

3.1.3.1.- Edificio Sur Inferior

Si exceptuamos las traquitas de algunos afloramientos localizados que forman domos (Roque del Moro, Islote de Cofete y Montaña Azufrá), el Edificio Sur Inferior de Jandía es basáltico (fig.32). En él se encuentran tipos basálticos muy variados, distinguiéndose unos de otros fundamentalmente por proporciones variables de los diferentes tipos de fenocristales. Los más frecuentes son los basaltos ankaramíticos (42%), siguiéndoles los basaltos piroxénico-olivínicos, basaltos olivínico-piroxénicos y basaltos picríticos. Menos frecuentes son las ankaramitas, basaltos olivínicos y basaltos afíricos (fig.32). Las proporciones de los distintos tipos son:

El 66% de las rocas son bastantes porfídicas (10 a 30% de fenocristales); un 28% tienen menos del 10% de fenocristales y tan sólo un 5% corresponde a las rocas más porfídicas (con más del 30% de fenocristales). En la mayor parte de los casos los fenocristales son casi exclusivamente de olivino y clinopiroxeno, encontrándose normalmente ambos en proporciones similares. Sólo en las rocas más áfricas (tipos traquibasálticos) el clinopiroxeno pasa a ser el fenocristal dominante, la plagioclasa aparece únicamente en contadas ocasiones como fenocristal y siempre en proporciones subordinadas. (Proporciones medias: Ol.: 40%; Px.: 55%; Plag.: 5%).

TIPOS PETROGRÁFICOS	%
Ankaramitas	5,3
Basaltos Picríticos	10,5
Basaltos Ankaramíticos	42,1
Basaltos Oliv.-Pirox.	10,5
Basaltos Pirox.-Oliv.	15,8
Basaltos Olivínicos	5,3
Basaltos Afaníticos	5,3
TOTAL Basaltos	94,8
Traquitas	5,2

Rocas Traquíticas.

Las rocas traquíticas pertenecientes a esta Serie varían de cuarzotraquitas (Roque del Moro e Islote de Cofete) a traquitas (Montaña Azufrá).

Petrográficamente las rocas del Islote de Cofete son cuarzotraquitas de textura porfídico-seriada formadas por abundantes fenocristales de feldespato alcalino y microfenocristales de egrina, que a veces están en agregados de cristalitos aciculares. Entre los fenocristales aparecen pequeños cristales alotriomorfos de cuarzo, así como alguno de flogopita rodeados de una corona de egrina. La matriz es microcristalina, fundamentalmente formada por feldespato alcalino en disposición fluidal y menor cantidad de cristales de egrina.

Las rocas del Roque del Moro son cuarzotraquitas de textura porfídica. Los fenocristales son esencialmente de feldespato alcalino de gran tamaño, generalmente corroídos y alterados, existiendo algunos de flogopita de menor tamaño. La matriz es microcristalina formada por cristalitos idiomorfos de feldespato alcalino entre los que hay algunos cristales alotriomorfos de cuarzo, así como pequeñas cantidades de calcita secundaria.

Las rocas de Montaña Azufrá son traquitas de textura microcristalina fluidal definida por la disposición paralela de los cristales de feldespato alcalino, entre los que se distribuyen pequeños cristales aciculares de egrina y pequeñas flogopitas

asociadas con magnetita. Ocasionalmente hay microfenocristales de anortosa y flogopita.

3.1.3.2.- Edificio Sur Intermedio

El tipo de roca más abundante lo constituyen los basaltos (90%), con traquibasaltos en menor proporción (10%) (fig.32). Dentro de los basaltos, la mayoría (52%) son olivínico-piroxénicos con cantidades menores de basaltos picríticos, basaltos piroxénico-olivínicos y alguno plagioclásico. Proporcionalmente los tipos son:

TIPOS PETROGRÁFICOS	%
Basaltos Picríticos	9,4
Basaltos Oliv.-Pirox.	53,3
Basaltos Pirox.-Oliv.	9,4
Basaltos Plagioclásicos	9,4
Basaltos Afaníticos	9,4
TOTAL Basaltos	90,9
Traquibasaltos	10,1

Los basaltos son holocristalinos porfídicos de matriz microcristalina. La mayor parte de ellos (54%) tienen entre el 5% y el 20% de fenocristales y en menor proporción (5%) más del 20% (fig.32). El olivino es el fenocristal más abundante en la mayoría de las rocas, constituyendo en general el 60% de los fenocristales (Proporciones medias: Ol:60%, Px:33%, Plag:7%).

Los traquibasaltos son rocas escasamente porfídicas, con menos del 1% de fenocristales que suelen ser de piroxeno y olivino. Ambos están englobados en una matriz microcristalina fluidal formada fundamentalmente por feldespatos, con piroxeno, opacos y a veces algunos olivinos iddingsitizados.

3.1.3.3.- Edificio Sur Superior

Los tipos más abundantes son los basaltos (77%), aunque también existen traquibasaltos (19%) y en mucha menor proporción traquitas (3%) (fig.32). Dentro de los basaltos los más abundantes son las ankaramitas, seguidas de los basaltos picríticos y basaltos olivínico-piroxénicos. En menor proporción existen basaltos ankaramíticos, olivínicos, picritas y basaltos afíricos, siendo estos últimos los más escasos.

En proporción aproximada los tipos petrográficos son:

Se trata de rocas holocristalinas porfídicas de matriz microcristalina, entre las que existen muestras de muy diferentes contenidos en fenocristales, siendo los tipos más comunes (38%) los muy porfídicos, con más del 30% de fenocristales. Los más

frecuentes son de olivino y de clinopiroxeno, estando prácticamente ausente la plagioclasa (Proporciones medias: Ol:69%, Px:30%, Plag:1%).

TIPOS PETROGRÁFICOS	%
Oceanitas	6,5
Ankaramitas	22,6
Basaltos Picríticos	12,9
Basaltos Ankaramíticos	9,7
Basaltos Oliv.-Pirox.	12,9
Basaltos Olivínicos	9,7
Basaltos Afaníticos	3,2
TOTAL Basaltos	77,5
Traquibasaltos	19,0
Traquitas	3,0

En algunas ankaramitas aparece anfíbol subidiomorfo a alotriomorfo, con corona de resorción de opacos. Estas rocas son también las que tienen a veces fenocristales de plagioclasa que suelen ser subidiomorfos y a veces están algo corroídos.

Las **rocas traquíticas**, que corresponden únicamente al Domo del Cuchillo del Palo, son de textura porfídica con escasos fenocristales de feldespato alcalino, anfíbol y algo de clinopiroxeno egirínico. La matriz es microcristalina, feldespática, de carácter fluidal, con augita egirínica, opacos y esfena.

3.1.3.4.- Formación La Angostura

Las nefelinitas olivínicas de la península de Jandía son rocas con un 10-15% de fenocristales, en su mayoría (80%) de olivino, con algunos de augita en menor proporción. La matriz microcristalina, tiene augita, opacos, olivino y nefelina poiquilítica, transformada esta última, con mucha frecuencia, a ceolitas.

En **resumen**, en la Serie I de Fuerteventura predominan los tipos basálticos (incluyendo basanitas, nefelinitas y picritas), estando siempre en proporción superior al 60% (Tabla 3). Los traquibasaltos, traquiandesitas y traquitas son, en ese orden, cada vez menos abundantes. En general, el número de términos diferenciados aumenta de las Series I Inferiores a las Intermedias y Superiores.

Se ha efectuado, con los riesgos que ésta aproximación lleva, una media considerando que cada serie de cada edificio tuviera la misma representatividad y eliminando la Formación La Angostura (Tabla 3). Los basaltos serían el 80% de las rocas, traquibasaltos el 16%, traquiandesitas el 4% y las traquitas, podrían ser del orden del 1% o menos.

Dentro de los tipos basálticos la variación es bastante grande (Tabla 4). Las rocas con más del 30% de fenocristales llegan a constituir el 37% en alguna serie (Edificio Sur Superior). En general predominan la ankaramitas sobre las oceanitas.

Tabla 3.- Distribución de los principales tipos petrográficos por Edificios y Series

EDIFICIO	EDIFICIO (SERIE)	% B	% TB	% TAB+TA	T
Edif. NORTE	Edificio Inf.	71,5	21,4	7,1	Sí
	Sup.	62,7	19,6	17,7	--
Edif. CENTRAL	Edificio Inf.	92,9	--	7,1	--
	Inter.	86,7	10,0	3,3	Sí
	Sup.	64,7	35,3	--	Sí
	Formac. Local	72,8	27,2	--	--
Edif. SUR	Edificio Inf.	100,0	--	--	Sí
	Int.	90,9	10,1	--	--
	Sup.	80,3	19,7	--	Sí
	Formac. Local	100,0	--	--	--
	MEDIA	80,3	15,8	3,9	

Con 20-30% de fenocristales (basaltos picríticos y ankaramíticos) suele haber un 20-30% de rocas, pero destaca la del Edificio Central Superior y el Edificio Sur Inferior del Edificio Sur con más del 50% del total de las rocas.

Tabla 4.- Distribución de los tipos de basaltos por Edificios y Series

	Norte		Centro			Sur			Media
	Inf.	Sup.	Inf.	Medio	Sup.	Inf.	Inter.	Sup.	
Oceanitas.	10	--	--	7,7	--	--	--	8,4	3,3
Ankaram.	--	--	7,6	11,5	--	5,6	--	29,2	6,7
B.Picrit.	20	--	--	19,3	9,1	11,1	10,3	16,6	10,8
B.Ankar.	--	--	15,4	7,7	45,5	44,4	--	12,5	15,7
Bas.Plág.	30	52,5	--	3,8	9,1	--	10,3	--	13,2
Basaltos	30	47,5	54,0	42,3	18,2	33,3	69,1	29,1	40,4
Bas.Afan.	10	--	23,0	7,7	18,2	5,6	10,3	4,1	9,9

Los basaltos plagioclásicos son especialmente abundantes en el Edificio Norte. Los basaltos normales (hasta 20% de fenocristales) suelen ser los términos más frecuentes, mientras que los afaníticos suelen ser menos del 10%.

En general, el fenocristal más abundante es el olivino, aunque el clinopiroxeno puede ser más frecuente en algunos casos, como en el Edificio Central Inferior y Sur Inferior y en el Central Superior.

3.2.- COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA SERIE I

Se han realizado 96 análisis de rocas de los distintos edificios y series, todos con elementos mayores y traza y, en buena parte de los casos, con Tierras Raras. A ellos se han agregado los análisis de la bibliografía, cuya posición estratigráfica fuera clara; en total se trata de 28 análisis (21 de rocas sálicas), tomados de Fúster et al.(1968), Muñoz (1969) y Cubas et al.(1989). Por brevedad no se presentan los análisis, estando a disposición del que los solicite.

Uno de los aspectos primeros y fundamentales a la hora de analizar la composición química de series basálticas es su clasificación y asignación a series de evolución magmática, por las implicaciones que ello puede tener a la hora de interpretar la génesis de las mismas. Es frecuente que los resultados según el criterio que se utilice sean contradictorios, por lo que han de ser analizados en detalle.

3.2.1.- CLASIFICACIÓN EN EL DIAGRAMA SÍLICE - ÁLCALIS.

La proyección en el diagrama T.A.S. (SiO₂-álcalis) de la I.U.G.S. (fig. 33) permite apreciar que el conjunto de la Serie I se extiende desde el campo de los microbasaltos a los de basanita-tefrita y basaltos y de ahí, a través de traquibasaltos y traquiandesitas, hasta las traquitas y riolitas (fig. 33). Los más abundantes son los términos básicos (SiO₂=45-52%) o incluso ultrabásicos (SiO₂<45%) con escasos términos traquiandesíticos y algunos más traquíticos, si bien estos últimos no es que sean más abundantes, sino que existen más análisis, tanto por su singularidad, como por haber sido objeto de dos trabajos específicos anteriores: Muñoz (1969) y Cubas et al.(1989). Una idea más concreta de las proporciones relativas de los distintos términos ha sido puesta de manifiesto en el capítulo anterior.

La proyección en el T.A.S. de los términos evolucionados (desde traquibasalto a traquitas) dentro de los campos de asociaciones alcalinas, puede hacer pensar que los términos menos evolucionados han de ser, al menos en su mayoría, de similar afinidad. Esto es así en principio, pero un análisis de mayor detalle permite apreciar que en los términos básicos el problema es más complejo, siendo mucho mayor la dispersión.

Las rocas básicas se proyectan en el campo de basaltos, donde el diagrama no hace separación de series, pero también en el de microbasaltos, en el de basanitas-tefritas e incluso en el de foiditas. Las rocas que se proyectan en este último campo lo hacen correctamente y corresponden a las nefelinitas olivínicas de la Punta de Jandía y a las de la Formación Tamacite.

En el campo de basanitas se proyectan también rocas que, aunque nunca lo son petrográficamente (como la mayor parte de las basanitas del mundo), sí tienen características normativas de basanitas (nefelina normativa >5% y albita normativa >5%, Green, 1969 y Ancochea, 1982). Sin embargo, en el diagrama T.A.S. se proyectan también en ese campo otras muchas rocas que no son basanitas ni petrográficamente, ni normativamente. Esto es debido a que una acumulación de cristales de ferromagnesianos, especialmente de olivino, desplaza la proyección de los

basaltos hacía el campo de microbasaltos en el caso de los basaltos toleíticos o ligeramente alcalinos (con pocos álcalis), pero a los basaltos más alcalinos los desplaza hacía el campo de las basanitas.

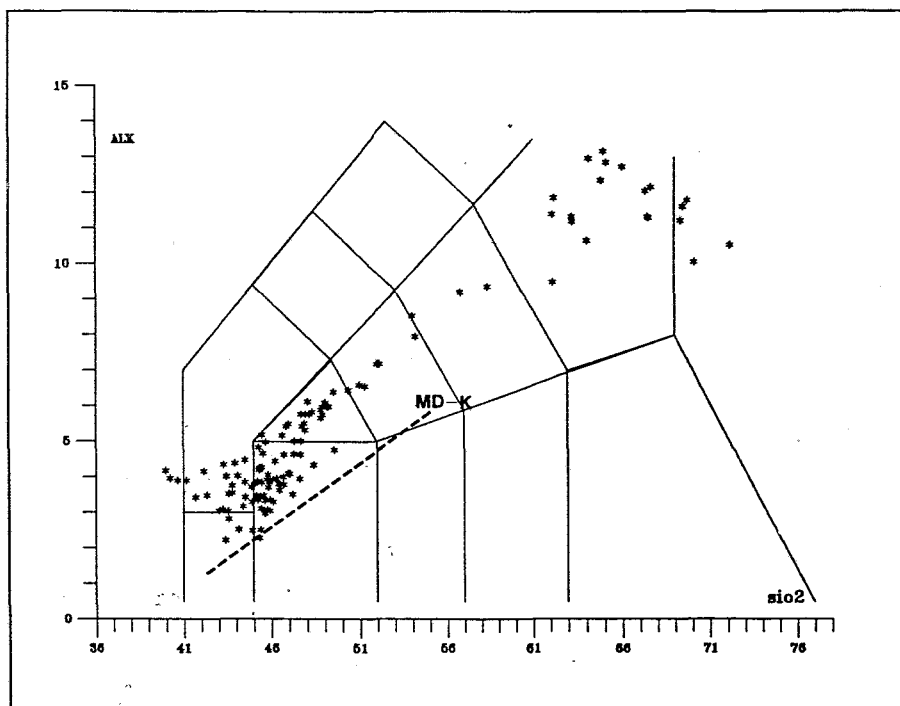


Figura 33.- Proyección de todos los análisis en el Diagrama T.A.S. La línea MD-K representa la línea de separación entre los campos alcalino y toleítico de MacDonald y Katsura (1964).

Podemos, por tanto, concluir, a partir del diagrama T.A.S., que *las rocas de la Serie I corresponden, en sus términos sílicos-intermedios, a rocas alcalinas. En los términos básicos se trata esencialmente de basaltos, con frecuentes términos de tendencias picríticas. Sólo ocasionalmente, en las series tardías de los Edificios Central y Sur, aparecen rocas de series fuertemente alcalinas (basanitas) o ultraalcalinas (nefelinitas olivínicas).*

La separación en el diagrama Sílice-álcalis entre basaltos toleíticos y alcalinos realizada por MacDonald y Katsura (1964) para rocas exclusivamente de Hawaii, ha sido tradicionalmente extrapolada a otras provincias. En nuestro caso, *todas las rocas se sitúan en el campo alcalino de dichos autores (fig.33).*

3.2.2.- LAS SERIES EN EL DIAGRAMA T.A.S.

La proyección por edificios y series de las rocas de Fuerteventura en el diagrama T.A.S. (fig.34) muestra homogeneidad general pero no en el detalle.

En el **Edificio Norte** (fig. 34A) se ve claramente una diferencia entre el Edificio Inferior (tramo alto) y el Superior, siendo menos alcalina el primero. Los términos sálicos, tanto las rocas traquíticas de Tindaya y Tebeto como un dique sálico que atraviesa la Formación de Lajares, se alinean claramente con las rocas de la Serie I Inferior confirmando la asignación estratigráfica. En la Serie I Superior destaca el predominio de los tipos traquibasálticos.

En el **Edificio Central** (fig. 34B) la Serie I Inferior se manifiesta como la menos alcalina, tanto en los términos básicos como en el único evolucionado (traquiandesita). Las Series I Intermedia y Superior son difíciles de separar, pues son las dos alcalinas y tanto las traquitas de Los Morros como la del Barranco de la Torre, se alinean con ellos, apoyando su consanguineidad. Las Formaciones Locales son más alcalinas proyectándose en el campo de basanitas o de foiditas.

En el **Edificio Sur** (fig. 34C) los términos menos alcalinos pertenecen a los Edificios Inferior e Intermedio y lo mismo sucede en los términos sálicos con las traquitas del Edificio Inferior (Cofete, Roque del Moro y Montaña Azufrá). El Edificio Superior es más alcalino y lo mismo sucede con sus rocas sálicas (traquita de El Palo). Finalmente la Formación La Angostura es aún más alcalina proyectándose en el campo de basanitas y de foiditas.

Los términos básicos del Edificio Sur Intermedio son los menos alcalinos de todo el Edificio, incluso más que el Inferior, pero eso no tiene correspondencia en los términos más evolucionados.

Si marcamos con una línea la tendencia evolutiva de cada serie (con todos los errores que una línea de ese estilo supone) podemos hacernos una idea, a grandes rasgos, de las variaciones de alcalinidad (fig. 34 y 35). Las series inferiores son menos alcalinas y la alcalinidad aumenta en el tiempo para cada edificio. Mientras que las pautas del Edificio Norte y Sur (justo los no contiguos) son paralelas, las del Edificio Central son transversales a las anteriores con un aumento más rápido del contenido en álcalis con la evolución.

3.2.3.- CRITERIOS NORMATIVOS DE CARACTERIZACIÓN

Tal vez, el criterio más utilizado para la separación de subtipos basálticos es el basado en la mineralogía normativa C.I.P.W (Yoder y Tilley, 1962). Esta división ha sido ampliada en el caso de los términos alcalinos siguiendo igualmente criterios normativos (p.ej. Green, 1969; Ancochea, 1982), con lo que podríamos distinguir:

Basaltos toleíticos : Q.

Toleitas olivínicas : Ol, Hy.

Basaltos alcalinos : Ne 0-5%.

Basanitas : Ne > 5%, Ab > 5%.

Nefelinitas olivínicas: Ne > 5%, Ab < 5%.

Melilitas olivínicas : Ln.

Se trata en definitiva de una división en base a la saturación en SiO₂.

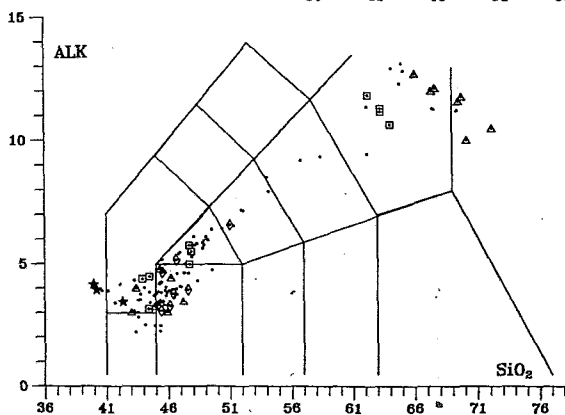
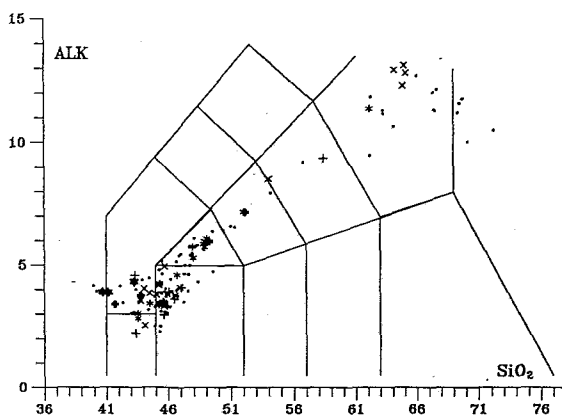
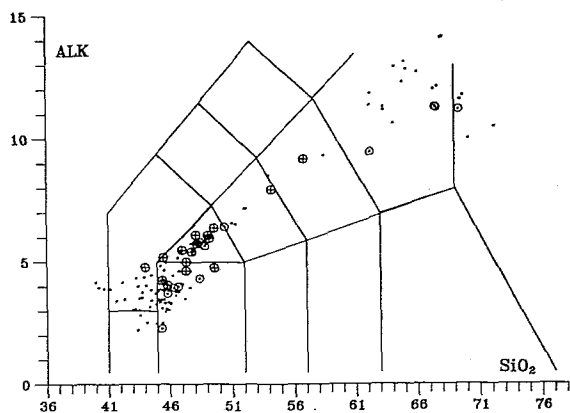


Figura 34.- Proyección de las Series por Edificios, en el Diagrama T.A.S. A : Edificio Norte. B : Edificio Central. C: Edificio Sur. En todas las figuras aparecen la totalidad de los análisis como puntos, para facilitar la comparación. ○ Serie I Inferior, Edificio Norte. ⊕ Serie I Superior, Edificio Norte. + Serie I Inferior, Edificio Central. X Serie I Intermedia, Edificio Central. * Serie I Superior, Edificio Central. Formación Tamacite y Formación Tableros. Formación Melindraga. Δ Serie I Inferior, Edificio Sur. ◊ Serie I Intermedia, Edificio Sur. □ Serie I Superior, Edificio Sur. * Serie I Tardía, Edificio Sur.

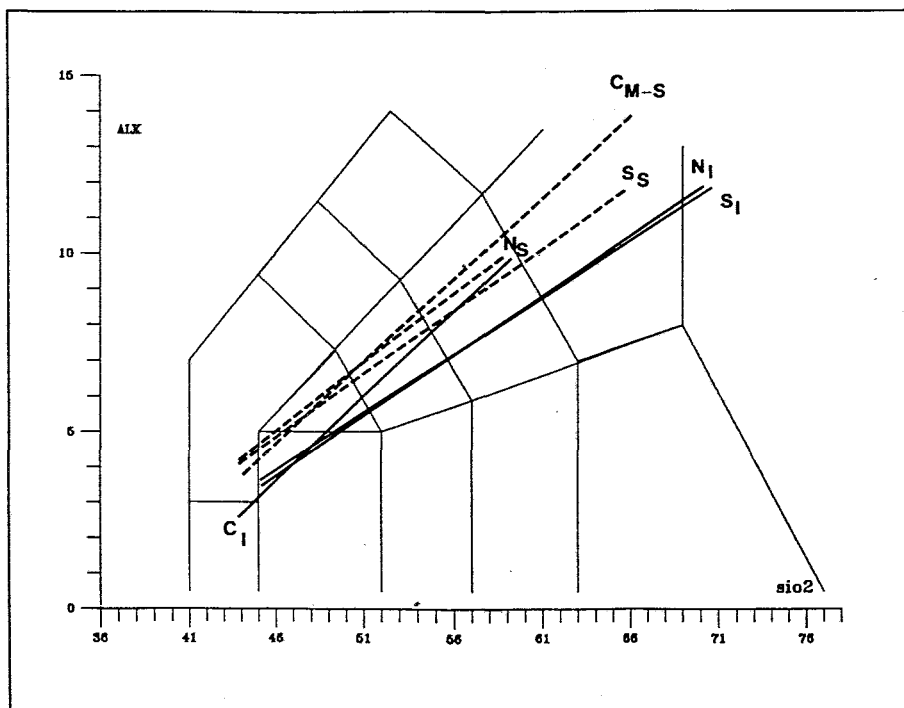


Figura 35.- Tendencias evolutivas de las distintas series y edificios en el Diagrama T.A.S., tomados de la figura 36. NS: Norte Superior. NI: Norte Inferior. CM-S : Centro Intermedio y Superior. CI: Centro Inferior. SI: Sur Inferior. SS: Sur Superior.

Chayes (1965, 1966) e Irvine y Baragar (1971) proponen una caracterización basada en el contenido en Opx, Cpx, Ol normativos, pero este criterio no ha sido, en general utilizado por autores posteriores. El propio Chayes (1965) advierte que la precisión del diagrama es buena para rocas con nefelina o cuarzo normativos, pero mucho menor para rocas con hiperstena y olivino normativos que, como veremos, es nuestro caso en numerosas ocasiones.

La utilización de los criterios de Yoder y Tilley (1962), ampliados tal como hemos señalado, son los que vamos a utilizar. Sin embargo, el problema más importante a la hora de la aplicación, es la influencia del grado de oxidación (del contenido en FeO y Fe₂O₃) en los minerales normativos. En nuestro caso, se ha realizado la determinación de ferroso en todas las rocas, en el laboratorio del Dpto. de Petrología y Geoquímica de la Universidad Complutense de Madrid. Sin embargo, éste no tiene porqué ser el original, pues la roca puede haberse oxidado tras su consolidación o en la realización misma del análisis. Por ello es habitual que el FeO se recalcule a unos valores standard, que varían según los autores.

Partiendo de los valores de ferroso y férrico reales (medidos) la mayoría de las rocas (el 89,2%) se sitúan en el campo entre toleitas olivínicas (Hy + Ol normativos)

y basaltos alcalinos (Ne normativa= 0 a 5%) es decir, en términos transicionales toleítico - alcalino.

Con la normalización de Le Maitre (1976) los términos se "alcalinizan". Las rocas más abundantes son los basaltos alcalinos, con menor cantidad de rocas toleíticas (tanto olivínicas como con cuarzo) y más basanitas y nefelinitas. Aún así, un 34% de las rocas sigue clasificándose como toleíticas y el 85% sigue situándose entre toleitas olivínicas y basaltos alcalinos.

Dentro de la homogeneidad general pueden apreciarse ciertas variaciones. Éstas se refieren a la distinta alcalinidad (saturación) de las rocas de cada serie y edificio. Para tratar de cuantificarlas definimos un "índice de alcalinidad" (I.A.) igual al contenido en nefelina normativa (valor positivo del I.A.) o al contenido en hiperstena normativa (valor negativo del I.A.), siempre para rocas básicas o ultrabásicas ($\text{SiO}_2 < 52\%$) y FeO recalculado según Le Maitre (1976). Un I.A.= 1 equivaldría pues a un 1% de nefelina normativa y un I.A.= - 1 a un 1% de hiperstena normativa .

En la figura 36 se representa el índice de alcalinidad por series y puede comprobarse que, independientemente del nombre que les asignemos, es evidente que **unas series son más alcalinas que otras**, siendo justamente ese valor relativo lo que nos interesa.

Tendríamos así, que en el Edificio Norte, el Inferior no está claramente definido, sólo su tramo alto es claramente toleítico, pasando en el Superior a situarse en el límite toleítico - alcalino (I.A.= 1,3), con el tramo alto alcalino.

En el Edificio Central, el Inferior se encuentra en el límite toleítico-alcalino (I.A.= - 0,1), el Intermedio en la base también lo es (I.A.= - 0,2), pero después se hace alcalino (I.A.= 2,7). El Superior comienza de nuevo en el límite de transición toleítico - alcalino (I.A.= - 0,3), con términos finales alcalinos (I.A.= 3). Finalmente, las Formaciones Locales van de alcalinas a fuertemente alcalinas y ultraalcalinas.

El Edificio Sur sería en su Serie Inferior ligeramente alcalino (I.A.= 0,6), la Intermedia, peor definida químicamente, variaría de toleítica a alcalina. La Superior sería claramente alcalina (I.A.= 3,3) y la Formación La Angostura fuertemente alcalina o ultraalcalina.

3.2.4.- CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LAS ROCAS SÁLICAS

Las rocas sálidas han sido objeto de estudios previos, como hemos indicado ya en otros momentos. Muñoz (1969) las estudia en el conjunto de todas las rocas sálidas de la isla, prestando mayor atención a los afloramientos más importantes, los del Complejo Basal. Cubas et al. (1989) centran su trabajo exclusivamente en los relacionados con la Serie I, caracterizándolos petrográficamente y químicamente. Sin embargo, no se ha efectuado un análisis de su composición en función de su posición en edificios y series.

Petrográficamente las rocas varían de traquitas a cuarzotraquitas y en el diagrama T.A.S. de traquitas a riolitas. Desde el punto de vista químico dos son las características principales para definir estas rocas: su saturación en SiO_2 y su

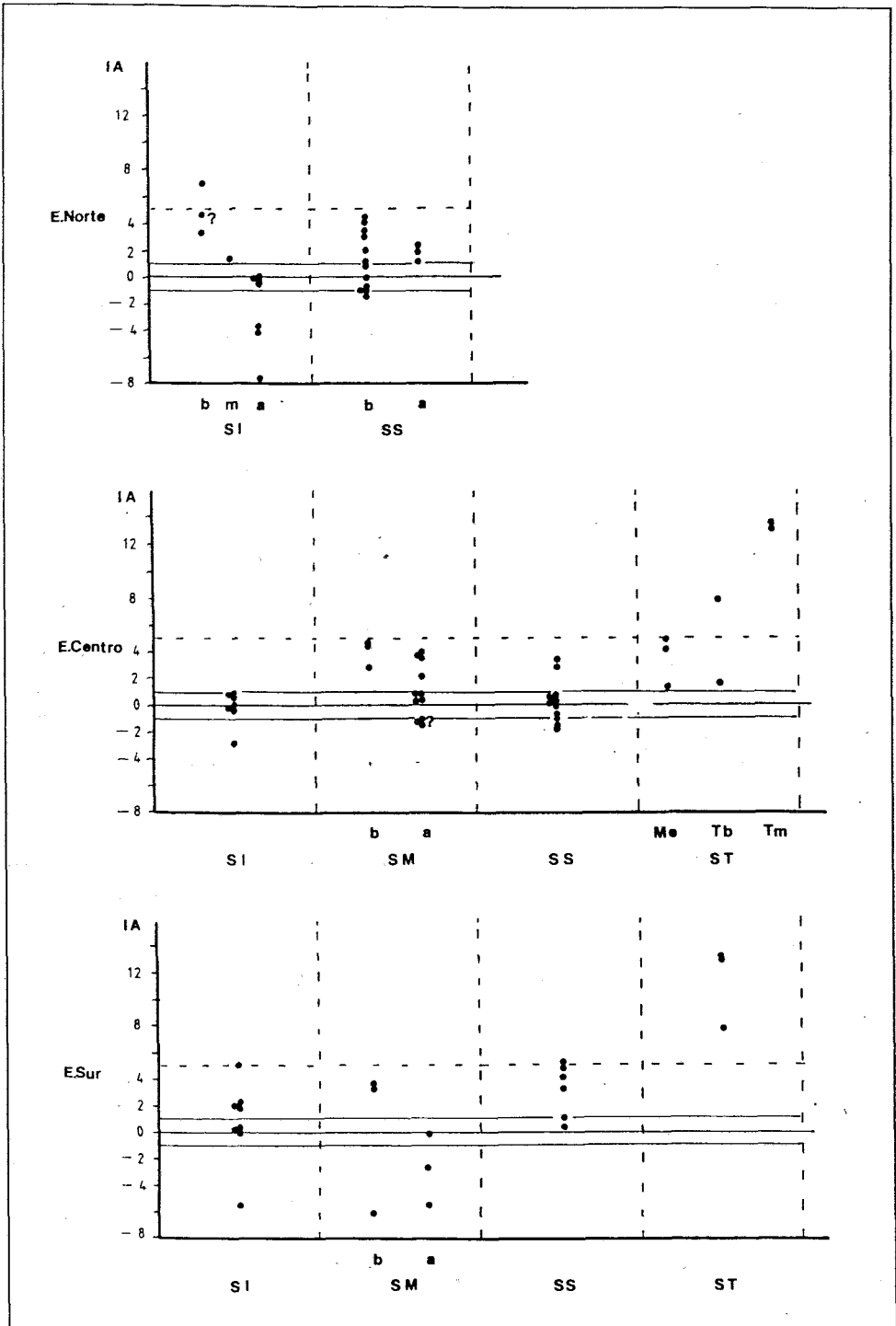


Figura 36.- Variación del índice de alcalinidad por edificios y series. SI: Serie I Inferior. SM: Serie I Intermedia. SS: Serie I Superior. ST: Serie I Tardía. b: tramo bajo. m: tramo medio. a: tramo alto. Me: Formación Melindraga. Tb: Formación Tableros. Tm: Formación Tamacite.

saturación en Al_2O_3 . Con respecto al primer aspecto tenemos unas traquitas con elevados contenidos en cuarzo normativo (sobresaturadas) y otras con contenidos en cuarzo 3% o incluso con algo de nefelina normativa, es decir, saturadas.

En cuanto a la saturación en Al_2O_3 existen traquitas peralcalinas (con egrina normativa) y no peralcalinas (sin egrina normativa). Las traquitas de cada serie y edificio son diferentes en esos dos aspectos (Tabla 5).

Tabla 5.- Características normativas de las rocas traquíticas.

Edificio	Localidad	SOBRESATURADA	PERALCALINA
NORTE	Tindaya-Tebeto	SI	NO
	Dique Lajares	SI	NO
CENTRAL	Morros	NO	SI
	Bco. de la Torre	NO	SI
SUR	Ed. Inferior Cofete	SI	SI
	Ed. Inferior Azufrá	SI (poco)	SI
	Ed. Superior C. Palo	NO	NO

En el Edificio Norte son traquitas sobresaturadas y no son peralcalinas. El dique sálico que atraviesa la Formación Lajares tienen análogas características, apoyando que exista relación entre ambos.

En el Edificio Central las traquitas de Los Morros son saturadas y peralcalinas e igualmente la colada del Barranco de la Torre, apoyando también aquí su posible relación.

En el Edificio Sur hay dos episodios sálicos, uno en el Edificio Inferior y otro en el Superior. Las traquitas del Inferior son sobresaturadas y peralcalinas, algo menos sobresaturadas las de Montaña Azufrá. Además las tobas sálicas que aparecen separando el Edificio Sur Inferior del Intermedio son iguales en composición a las de la propia Montaña Azufrá. Por el contrario, las traquitas del Edificio Sur Superior no son ni sobresaturadas ni peralcalinas.

Las traquitas sobresaturadas o cuarzotraquitas (Edificio Norte y Edificio Sur Inferior) se asocian a series toleíticas (según los criterios antes mencionados) mientras que las traquitas no sobresaturadas o traquitas simplemente, lo hacen a series, manifiestamente alcalinas (ver fig. 34 y 36).

3.2.5.- ALCALINIDAD DE LAS SERIES Y ELEMENTOS TRAZA

La relación Y/Nb (o Nb/Y) ha sido utilizada para separar rocas según su afinidad alcalina, toleítica o transicional. Pearce y Cann (1973) consideran como rocas alcalinas aquellas que tienen una relación Y/Nb menor que 1, transicionales si su valor es entre 1 y 2 y toleíticas mayor que 2. Por su parte Winchester y Floyd (1976) y Floyd y Winchester (1975) suprimen el campo transicional y sitúan el límite alcalino-subalcalino en la relación Nb/Y= 0,67, equivalente a 1,5 de Y/Nb.

Las rocas de la Serie I tienen todos los valores de la relación Y/Nb inferior a 1, es decir, se situarían en el campo alcalino. El Edificio Norte Superior (tramo alto), el menos alcalino, tiene la relación media más elevada: 0,67, con una roca que alcanza 0,94. El resto de las series tienen valores medios entre 0,36 y 0,57 pero no se aprecia una correlación precisa alcalinidad-relación Y/Nb. Así las rocas ultraalcalinas de la Formación Tamacite tienen 0,41 y las nefelinitas de Jandía 0,44.

Las rocas de la Serie I Inferior (tramo bajo) del Edificio Norte, hemos señalado que están alcalinizadas, por lo que su asignación a una serie de evolución magmática no es posible a partir de los álcalis. El comportamiento como elementos inmóviles de Y y Nb los hace adecuados para caracterizarla. Su relación media es 0,36 lo que indicaría que se trata claramente de una serie alcalina en origen. Sin embargo, el bajo valor de la relación, el menor de todos, plantea dudas sobre la inmovilidad de esos elementos.

3.2.6.- DEFINICIÓN DE SERIES DE EVOLUCIÓN

De lo expuesto hasta el momento sobre la caracterización de las Series I de Fuerteventura, podemos concluir que nos movemos mayoritariamente dentro del campo alcalino, aunque con diferencias de alcalinidad de unas series a otras y con una tendencia a aumentar ésta en el tiempo.

Ahora bien, esa diferencia de alcalinidad puesta de manifiesto a lo largo de los apartados anteriores creemos que es importante y refleja aspectos petrogenéticos de interés. Por eso, **no es conveniente incluir todo en la misma serie evolutiva.**

En las series claramente alcalinas, es decir con Ne normativa, hay también diferencias de alcalinidad. Así pueden separarse nefelinitas y melilititas que pertenecen a "series ultraalcalinas", de basanitas que serían representantes de una "serie fuertemente alcalina" y basaltos alcalinos que serían el término inicial de una "serie alcalina" normal o alcalina en sentido estricto.

Hernández Pacheco (1981) ha diferenciado para el conjunto de Canarias dos series principales que denomina basalto-traquita, equivalente a la alcalina "normal" y basanita-fonolita, equivalente a la fuertemente alcalina.

El principal problema lo plantean las rocas con Hy + Ol normativos, es decir, las toleitas olivínicas de Yoder y Tilley (1962). Por un lado, se las podía considerar, en

ese sentido, toleíticas, pero no reúnen ninguna otra de las características de este tipo de rocas, a saber:

- Se proyectan en el campo alcalino de MacDonald y Katsura (1964).
- Serían todas prácticamente alcalinas si recalculáramos su contenido en FeO y Fe₂O₃ a valores de Δ QFM= 0 o similar (los que parecen tenían los magmas).
- Se proyectan en el campo alcalino del diagrama Ol - Opx - Cpx de Chayes (1966).
- Se proyectan en el campo alcalino en el diagrama T.A.S. y en el AFM.
- Tienen relaciones Y/Nb de rocas alcalinas.

Yoder y Tilley (1962) repasan una serie de características mineralógicas de las rocas toleíticas: olivino escaso o ausente, presencia de piroxeno pobre en calcio, sin olivino en la matriz. Ninguna de ellas las cumplen estas rocas.

Es decir, son rocas desde todos los puntos de vista alcalinas, excepto por la presencia de Hy normativa. Con sólo ese argumento **nos parece incorrecto definir una serie toleítica en Fuerteventura.**

El término de Serie Transicional para rocas similares a éstas ha tenido bastante arraigo en la literatura petrológica, aunque también ha sido y sigue siendo ignorado por muchos autores y, sobre todo, se puede prestar a confusión. Así algunos autores como Le Maitre (1989) atribuyen el término a Kuno (1960), pero éste lo hace equivalente a basaltos de alta alúmina, con poco o sin Q normativo y con ortopiroxeno. En el sentido de esa definición, las rocas de la Serie I de Fuerteventura no pertenecerían a una Serie Transicional.

Coombs (1963) lo hace equivalente a "mildly alkaline" y no incluyen ortopiroxeno entre sus fases minerales y la pigeonita está ausente o es rara. Definen un índice a partir de la mineralogía (indicator ratio=I.R.): $Hy + 2 \times Q / [Hy + 2 \times (Q+Di)]$ y, siendo lo característico de la serie valores de 0,00 a 0,38. Para rocas con Ne normativa el índice sería cero y define entonces el índice como negativo: $I.R. = - Ne / (Ne + Di)$

Las rocas basálticas de la Serie I con Ol + Hy normativos entran dentro de ese rango. También dentro de ese rango aparecen series similares en otras islas oceánicas: Ascensión, Galápagos, Juan Fernández, Reunión, Mauricio y la serie Hamakua del Mauna Kea en Hawaii (Coombs, 1963). Asociadas a estas series aparecen pantelleritas y traquitas. Upton y Wadsworth (1966) también las denominan transicionales o ligeramente ("mildly") alcalinos. Muir et al. (1964) y Aumento (1968) distinguen, dentro de los basaltos con Ol + Hy normativos, los más próximos al plano Di-Ol que serían transicionales o ligeramente alcalinas (slightly alkaline), de los próximos al plano Di-Hy que serían toleitas olivínicas.

Bass (1972) revisa los términos y señala que dentro de los basaltos transicionales los hay con afinidad alcalina, que tienen olivino en la matriz y los de afinidad toleítica que pueden pasar de tener olivino en la matriz a olivino y piroxeno pobres en calcio, a sólo piroxenos pobres en calcio.

Barberi et al. (1975) definen una asociación transicional en el rift de Afar (Etiopía) que evolucionaría desde basaltos transicionales a riolitas peralcalinas

(pantelleritas), con un marcado enriquecimiento en Fe en los términos intermedios, lo que, como hemos visto, no se aprecia en las rocas de la Serie I.

Podríamos pues hablar en la Serie I de Fuerteventura de una Serie Transicional o ligeramente Alcalina. La ausencia de piroxeno pobre en Ca, la falta de enriquecimiento en Fe en los términos intermedios y su situación en el campo alcalino del SiO₂-Álcalis, hace más adecuado el nombre de "ligeramente alcalina" que el de "transicional".

En **resumen**, dentro de la Serie I de Fuerteventura podemos distinguir las siguientes series o asociaciones:

1.- Serie ligeramente alcalina (o transicional). Asociación: basalto toleítico olivínico (Ol+Hy norm.) ----- cuarzotraquita, riolita.

2.- Serie alcalina normal o de alcalinidad media. Asociación: basalto olivínico alcalino (Ne = 0-5%) ----- traquita.

3.- Serie fuertemente alcalina. Asociación: basanita (basanitoide) (Ne>5%, Ab>5%) ----- fonolita.

4.- Serie ultraalcalina. Asociación: nefelinita olivínica (Ne>5%, Ab<5%) ----- fonolita.

En Fuerteventura, en el caso de las series fuertemente alcalinas y ultraalcalinas sólo existen los términos básicos, en cambio en las otras, hay también términos intermedios y sálicos.

Con los problemas ya comentados en cuanto a variabilidad dentro de cada serie estratigráfica, podemos encuadrar las distinguidas en Fuerteventura en el esquema anterior. De forma que tendríamos (ver fig. 34, 35 y 36):

Edificio Norte:

Inferior:Tramo bajo: Serie alcalina normal (?).

Tramo medio: sin caracterizar.

Tramo alto: Serie ligeramente alcalina - transicional.

Superior: Serie alcalina normal.

Edificio Central:

Inferior: Serie ligeramente alcalina-transicional.

Intermedio: Serie alcalina normal.

Superior: Serie alcalina normal.

Formaciones Locales:

Formación Melindraga: Serie alcalina normal.

Formación Tableros: Serie fuertemente alcalina.

Formación Tamacite: Serie ultraalcalina.

Edificio Sur:

Inferior: Serie ligeramente alcalina-transicional (?).

Intermedio: Tramo bajo: Serie alcalina o ligeramente alcalina (?).

Tramo alto: Serie ligeramente alcalina-transicional.

Superior: Serie alcalina normal.

Formación La Angostura: Serie ultraalcalina y fuertemente alcalina.

4.- PETROGÉNESIS

4.1.- IDENTIFICACIÓN DE LOS PROCESOS PETROGENÉTICOS

Dentro de los procesos petrogenéticos que razonablemente deben haber actuado en la Serie I de Fuerteventura, parece obvio que la fusión y la cristalización fraccionada han debido ser fundamentales.

La existencia de diferentes tipos rocosos más o menos evolucionados, desde términos basálticos hasta traquíticos, sin "gaps" intermedios, indica que la cristalización fraccionada ha debido jugar un papel importante, aunque no igual en todas las series, puesto que en muchas de ellas están prácticamente constituidas sólo por términos básicos. Por otra parte, el que se trate de edificios diferentes, formados en distintos momentos y de series también distintas, implica que ha debido de haber diferentes mecanismos de fusión.

Es normal que hayan actuado también otros tipos de procesos petrogenéticos: mezclas en la cámara magmática, posibles fenómenos de contaminación y/o asimilación, etc. Sin embargo, sólo es necesario recurrir a ellos si con los otros mecanismos no se pueden justificar las pautas observables, ya que en principio en este tipo de series es de esperar que esos procesos sean de índole menor y causantes de variaciones locales cuyo estudio no es el objetivo de este trabajo.

4.1.1.- DIAGRAMAS MgO - ELEMENTOS

El diagrama MgO - elementos (fig.37, 38 y 39) es un diagrama de evolución que permite efectuar una primera aproximación al conocimiento de los procesos petrogenéticos. Hemos elegido el MgO como índice de evolución por la abundancia de términos básicos, dado que sus contenidos en SiO₂ apenas varían.

Lo primero que observamos es el comportamiento lineal de todos los componentes, sin gap composicional, aunque con un descenso en el número de datos en las rocas con 3% de MgO aproximadamente. En segundo lugar, se observa un comportamiento homogéneo en todas las muestras, lo que indica que en términos globales todas las series se han comportado de forma análoga y que las diferencias de unas a otras son de menor entidad. Se aprecian además una serie de inflexiones que deben reflejar cambios en la evolución magmática.

El análisis comparativo del contenido en MgO de las rocas y su proyección en el diagrama TAS permite deducir que, a grandes rasgos, los valores de MgO de 6%, 4%, 2% y 1% separan respectivamente basaltos, traquibasaltos, traquiandesitas basálticas, traquiandesitas y traquitas. Las inflexiones principales de los diagramas MgO-elementos coinciden justamente con estos límites, siendo el cambio más importante el que se produce en el paso de basaltos - traquibasaltos (\approx 6% MgO).

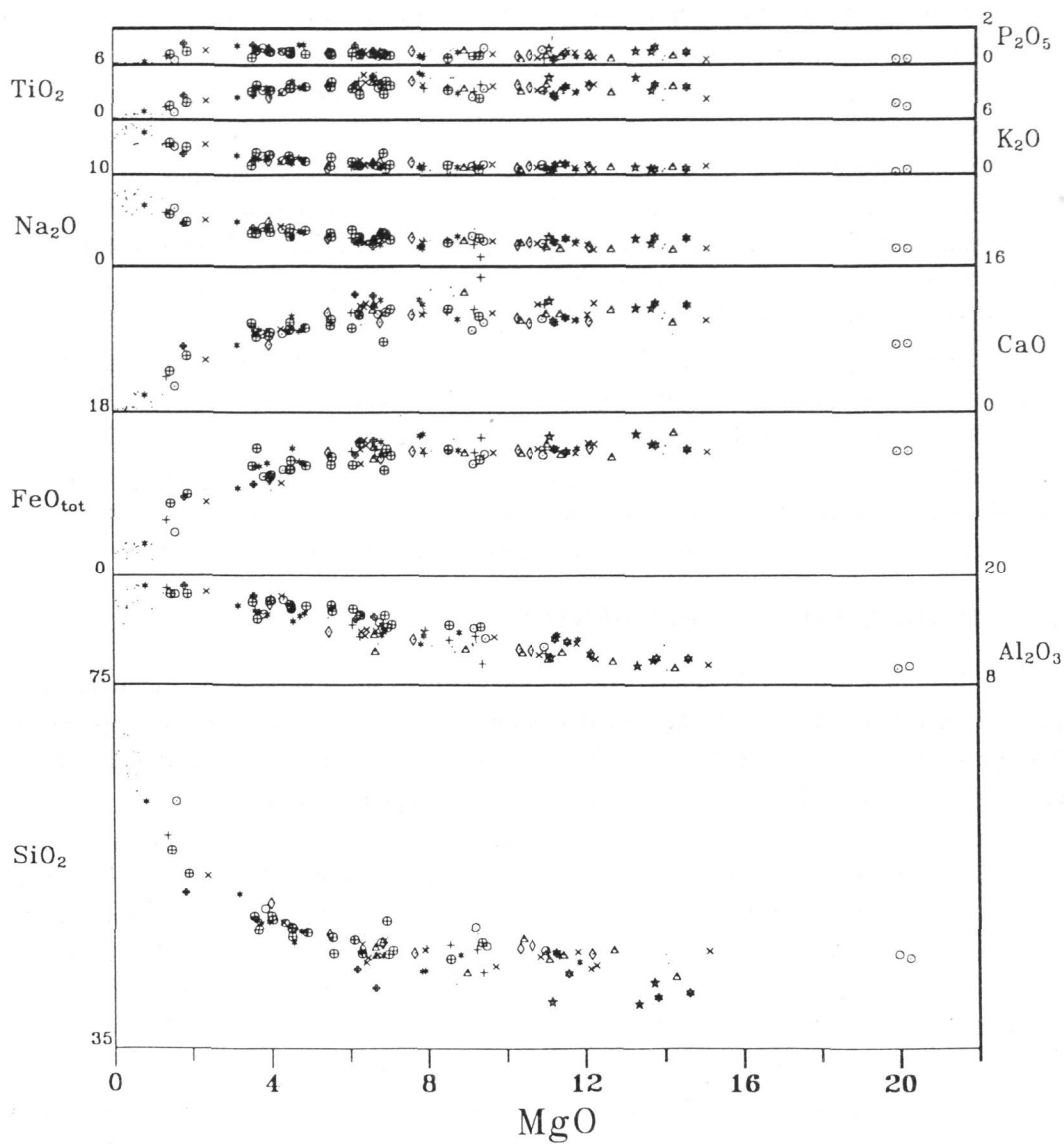


Figura 37.- Diagramas de variación MgO - Elementos Mayores. (Símbolos como en la figura 34).

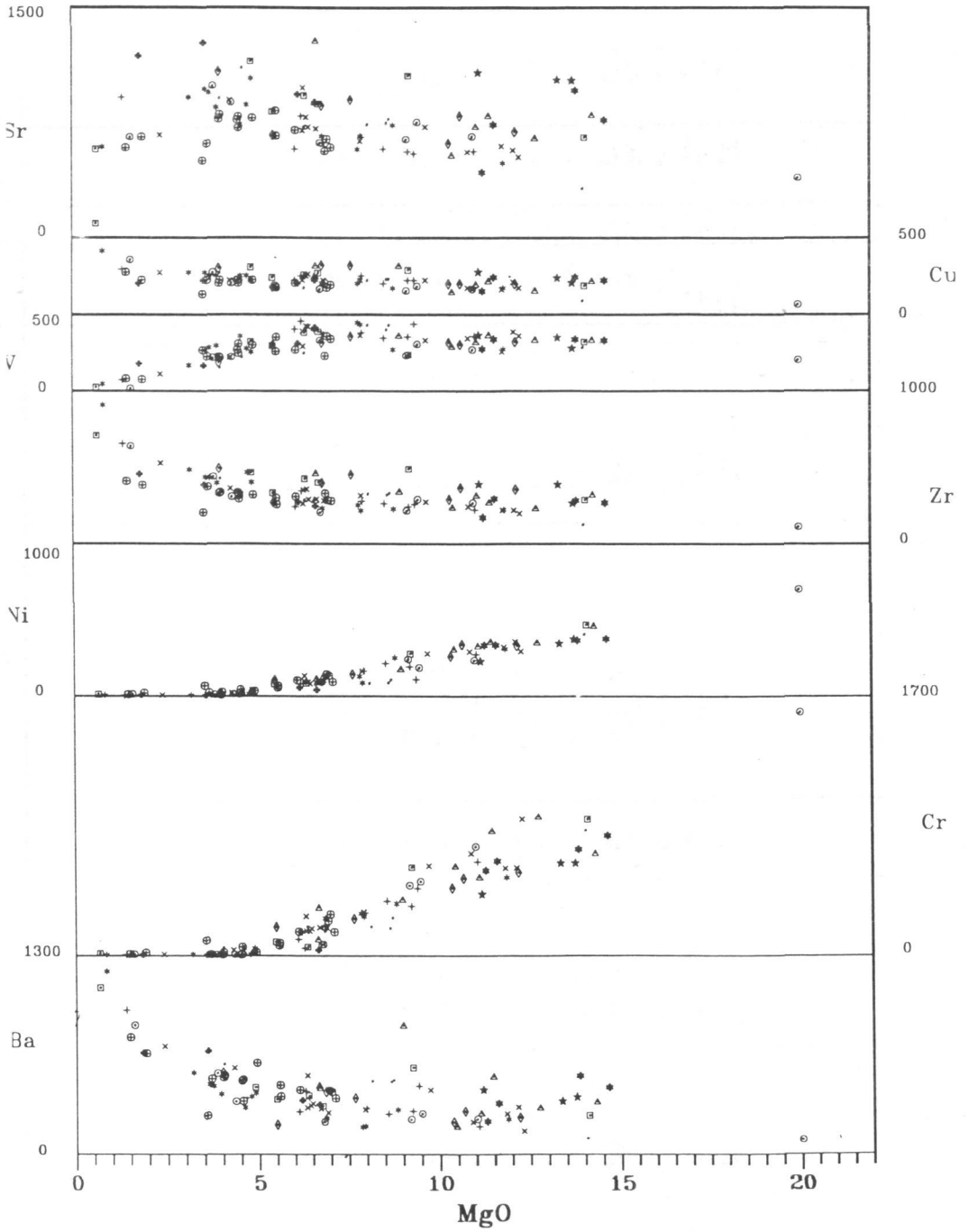


Figura 38.- Diagramas de variación MgO - Elementos Traza (1)- (Símbolos como en la figura 34).

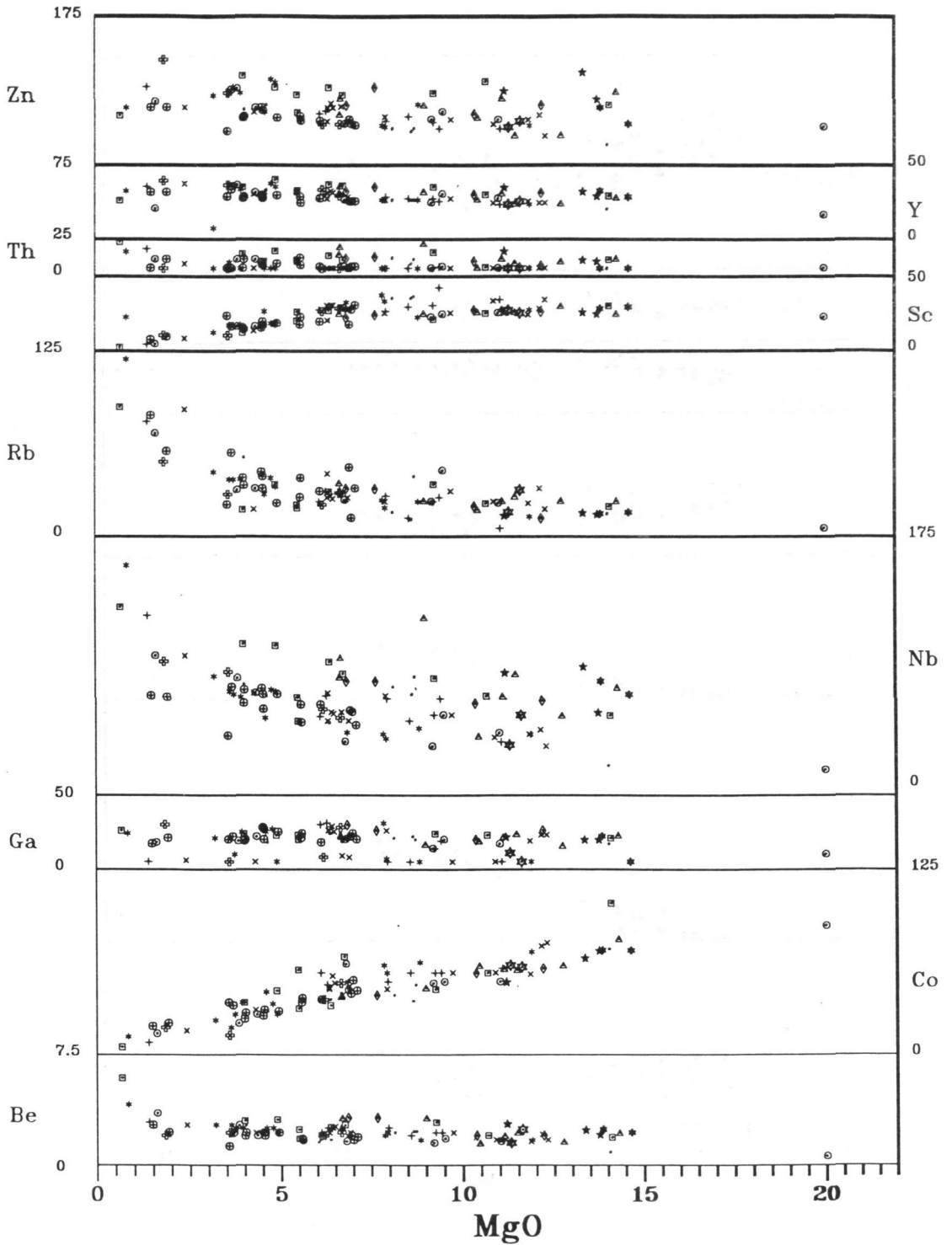


Figura 39.- Diagramas de variación MgO - Elementos Traza (2). (Símbolos como en la figura 34).

En lo referente a los **basaltos** lo más característico es que con el descenso del MgO se produce un aumento importante en Al_2O_3 , ligero en SiO_2 , Na_2O , Rb, Zr y una disminución en Ni, Cr, Co.

Es muy significativo que la concentración de la mayor parte de los elementos se mantengan a grandes rasgos constantes, incluyendo los elementos incompatibles que deberían aumentar claramente en un proceso de cristalización fraccionada. Si se analiza serie por serie se puede apreciar un cierto aumento de estos elementos, aunque no así en el conjunto.

El olivino y el clinopiroxeno son los fenocristales casi exclusivos de los basaltos (al menos de los términos más magnésicos) y deben ser los que condicionan las pautas de variación en un proceso de cristalización fraccionada. El descenso de Ni, Co y Cr así lo acreditan. El olivino, como veremos en el próximo apartado, es la primera fase en cristalizar y lógicamente debe participar durante todo el proceso. La escasa (o nula) variación en el valor de CaO indica la participación de una fase cálcica; ésta debe ser el clinopiroxeno, dado que aumenta el aluminio. Sin embargo no puede ser la única, puesto que el CaO no disminuye durante la evolución.

Olivino y clinopiroxeno pueden pues en principio justificar buena parte de las variaciones observadas. Sin embargo hay algunas características que no quedan explicadas de esta forma, como por ejemplo el que toda una serie de elementos, esencialmente incompatibles (Zr, Y, Th, Nb, Rb), permanezcan casi constantes en los términos básicos e intermedios.

4.1.2.- DIAGRAMAS DE ELEMENTOS TRAZA

Existen una serie de gráficos de elementos menores que permiten discriminar bien los efectos en la composición de los procesos de cristalización fraccionada frente a los de fusión parcial u otros (Treuil y Joron, 1975; Allegre y Minster, 1978; Minster y Allegre, 1978).

El diagrama $\log Cr - \log Ni$ permite valorar la cuantía de los procesos de cristalización o fusión. En el primero de los procesos la proyección daría una línea alineada con el origen y en el segundo una concentración de puntos en la zona de altos valores de Cr y Ni. En la fig.40 puede verse que las rocas se alinean con el origen. Hemos separado con distintos símbolos las rocas en función del contenido en MgO (10%, 10-6% y menor del 6%), apreciándose buena correlación MgO - Ni o Cr. Observamos, además que hacia el origen se sitúan las más pobres en MgO y al revés las más ricas. Estas últimas tienden a concentrarse en un sector, lo que puede reflejar tal vez la importancia del proceso de fusión. La alineación de todas estas rocas indicaría la procedencia de unas a partir de las otras.

Los diagramas que enfrentan dos elementos incompatibles dan lugar a líneas alineadas con el origen si el proceso es fusión o cristalización fraccionada y líneas no alineadas con el origen si es contaminación o mezcla. En el diagrama La - Ce, La - Nb o La - Th (fig.41) o en cualquier otro que enfrente elementos incompatibles de las rocas, observamos que éstas se proyectan a lo largo de una línea, mostrando escasa

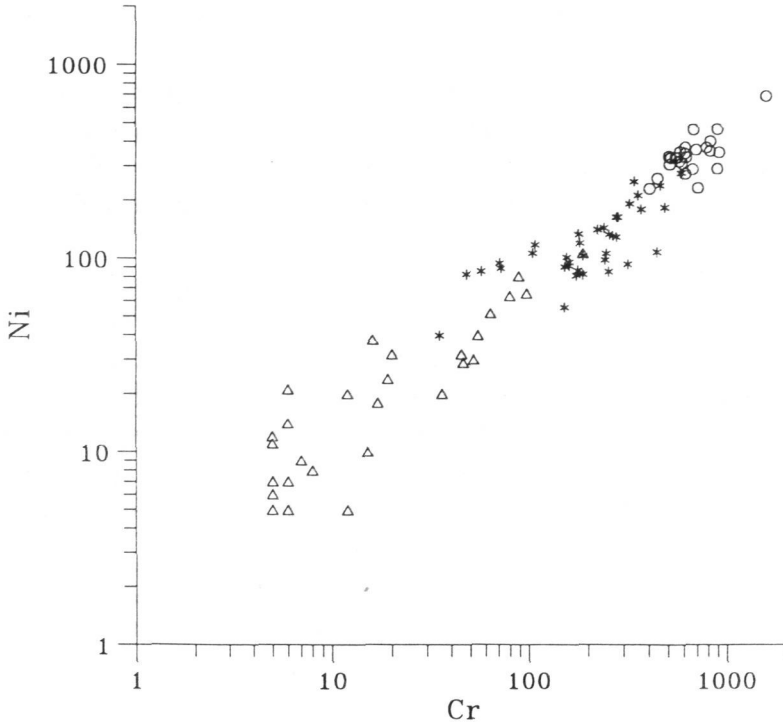


Figura 40.- Log. Ni-Log Cr. ○ Rocas con más del 10% de MgO. * Rocas con MgO entre 6 y 10%. Δ Rocas con menos del 6% de MgO.

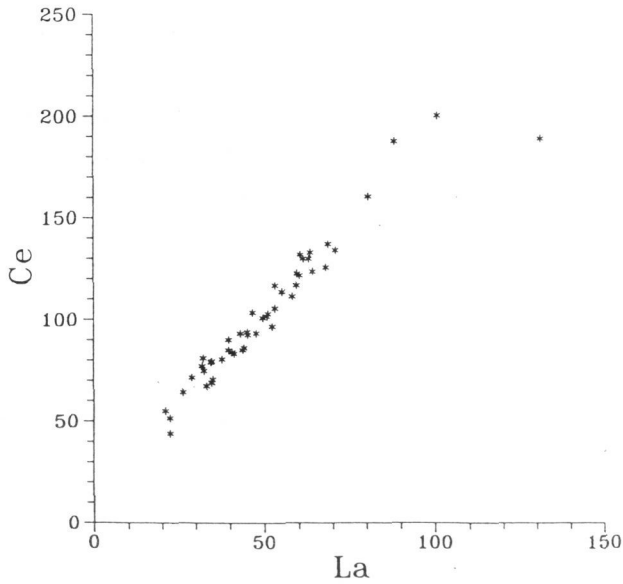


Figura 41.- Diagrama La-Ce para el conjunto de la Serie I.

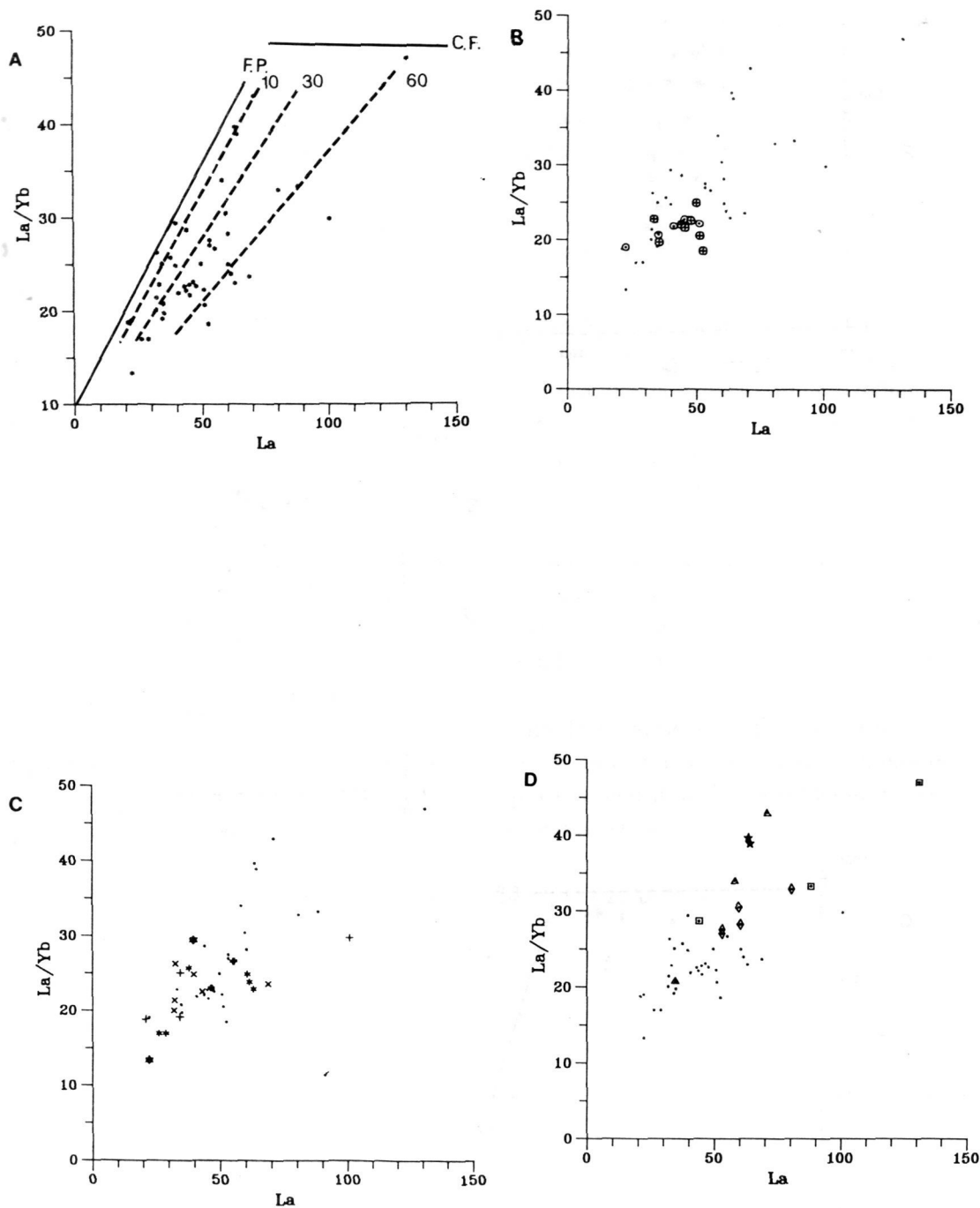


Figura 42.- La/Yb-La A.- para todas las rocas. La línea continua indica las pautas originadas por fusión parcial y las discontinuas tasas de cristalización (extracción) B.- Edificio Norte. C.- Edificio Central. D.- Edificio Sur.

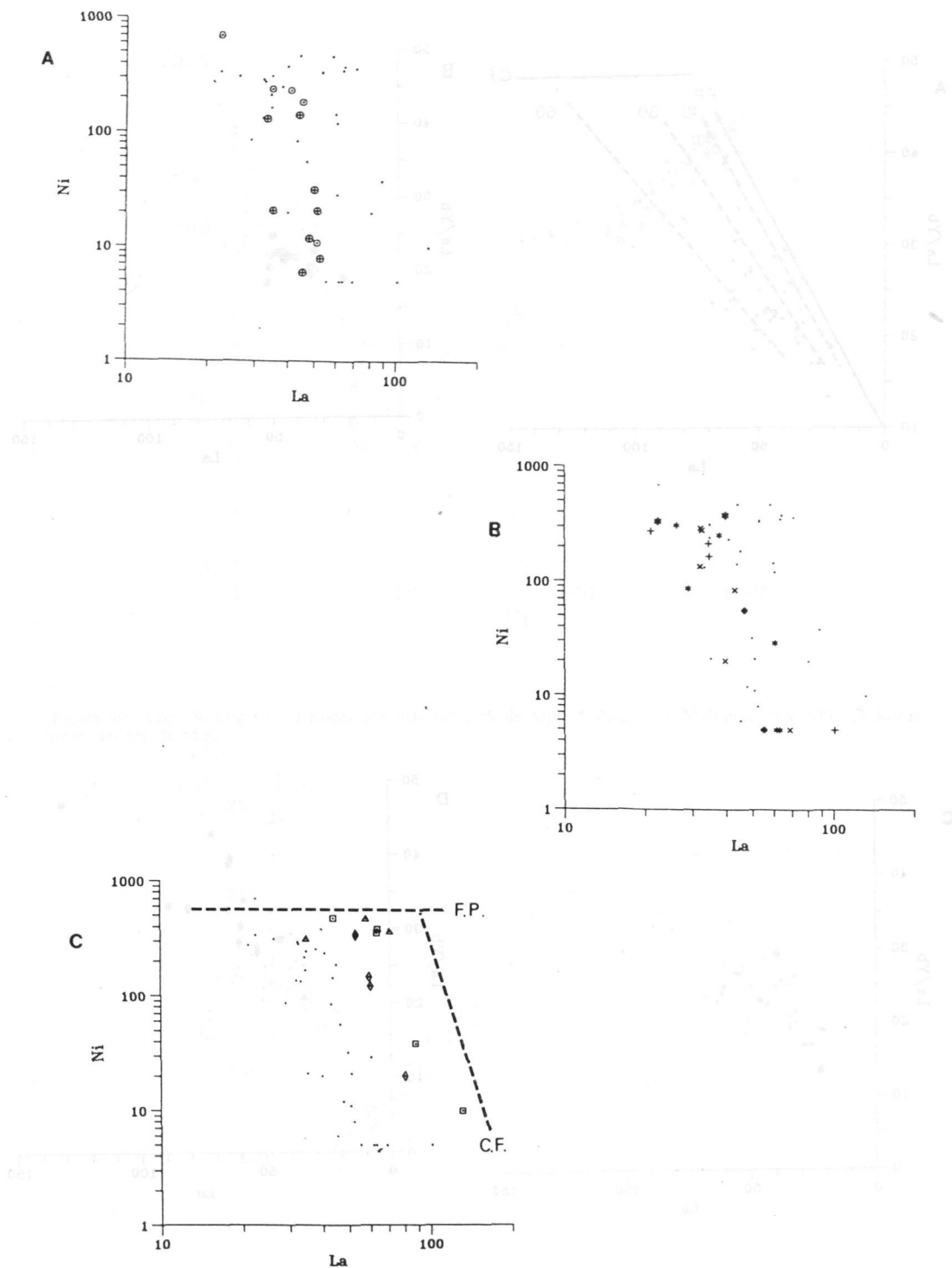


Figura 43.- Log Ni-La A.- Edificio Norte. B.- Edificio Central. C.- Edificio Sur.

dispersión, lo que indica que la fusión y la cristalización fraccionada son los que controlan la génesis de estas rocas.

El razonamiento anterior no es válido si el contaminante (o uno de los polos que intervienen en el proceso de mezcla) tuviera similares contenidos en incompatibles, es decir, no podríamos identificarlo si por ejemplo son mezclas en la cámara de líquidos procedentes de la misma fuente. En cualquier caso ese proceso, tan frecuente en cámaras magmáticas, no tiene excesiva transcendencia en el análisis de la petrogénesis general de estas rocas.

Demostrado que la cristalización fraccionada juega un papel importante en la Serie I (es el causante de la diversificación general) queda por evaluar el papel de los procesos de fusión.

Los diagramas $H_2/H_1 - H_2$ (siendo H dos elementos incompatibles de los que H_2 es el más incompatible) sirven para discriminar ambos procesos. La fusión da lugar a pautas alineadas con el origen y la cristalización fraccionada a líneas subhorizontales. Los diagramas de este estilo en nuestras rocas, como el La/Yb - La o La/Nb - La (fig.42) ponen de manifiesto que no estamos ante un proceso único, pues se trata de líneas alineadas con el origen (fusión), pero con dispersión horizontal (cristalización fraccionada).

Los diagramas log Ni (o Cr) - H deben dar unas pautas casi contrarias. Fusión: línea subhorizontal (similar valor de Ni). Cristalización fraccionada: líneas subhorizontales con pendiente negativa. Diagramas de este estilo, como el log Ni - La (fig.43), vuelven a demostrar que son estos dos últimos procesos los que han actuado conjuntamente en estas rocas.

En resumen, tendríamos pues que las rocas de la Serie I de Fuerteventura se han generado por procesos de fusión diferentes, que han dado lugar a magmas primarios en el detalle también distintos para a continuación evolucionar por procesos de cristalización fraccionada más o menos similares.

4.2.- LOS PROCESOS DE CRISTALIZACIÓN FRACCIONADA

Hemos visto como en los **basaltos**, esencialmente en aquellos con MgO entre 6% y 10%, con el descenso de ese óxido aumentaba ligeramente el SiO₂ y Na₂O y más claramente Al₂O₃ (fig.37, 38, y 39) lo que, unido a la constancia de otros elementos, indicaba que la cristalización fraccionada en estos términos está controlada por olivino y clinopiroxeno.

En los **Traquibasaltos** puede apreciarse aumento claro de SiO₂, Al₂O₃, Na₂O, K₂O, P₂O₅, Rb, Y, Nb, Ba, Zr, Sr, Th y REE y disminución de FeO, CaO, Ni, Cr, Co, Sc, V, Ti.

Existe pues un cambio drástico en el comportamiento de los elementos, con disminución de los ferromagnesianos y aumento de todos los demás.

El aumento del Al₂O₃, Na₂O y Sr indica que la plagioclasa no era el mineral principal en la cristalización. Por su parte, el descenso en CaO, aunque ligero, sí indica la participación de la plagioclasa o del clinopiroxeno. El descenso de FeO_T en rocas

con 12-13% de FeO_T no es posible sólo con el clinopiroxeno (con 7-8% de FeO) e implica que todavía debe participar el olivino. La disminución de Ni, Cr, Co, Ti, V y Sc señalan la participación de óxidos de Fe-Ti al tiempo que los ferromagnesianos.

En resumen, una cristalización esencialmente de olivino y clinopiroxeno con participación de óxidos de Fe-Ti puede justificar todas las pautas observadas.

En las **traquiandesitas**, aumenta el SiO_2 , K_2O , Na_2O , Al_2O_3 , Zr, Ba, Y, Nb, Th y REE y disminuye el FeO , CaO , TiO_2 , Co, V y Sc con el MgO .

Las variaciones son análogas a las de los traquibasaltos, pero con algunas diferencias. Así los valores de Cr y Ni son muy pequeños y permanecen más o menos constantes lo que indica una menor participación de ferromagnesianos. El olivino ya no existe como fenocristal y probablemente no participa en la cristalización fraccionada.

La plagioclasa tiene una participación importante con el clinopiroxeno lo que se traduce en un menor aumento de Al_2O_3 y Na_2O y disminución del Sr. Los óxidos de Fe-Ti siguen participando de forma importante. El P_2O_5 disminuye indicando una posible participación de apatito.

En las **traquitas** existe un cambio notable en el comportamiento de los elementos. Prosigue el aumento de SiO_2 con descenso de Al_2O_3 , reflejo de la cristalización esencial de plagioclasa. Los demás elementos permanecen constantes (P_2O_5 , TiO_2 , FeO , CaO) excepto los álcalis que tienen una gran dispersión, reflejando la actuación de otros procesos como gas - transfer, etc. Los datos de elementos menores son escasos como para sacar conclusiones. En cualquier caso, la ausencia de términos intermedios entre traquitas y basaltos que argumentaba Muñoz (1969) como algo que no permitía corroborar su hipótesis de génesis por cristalización fraccionada, hemos visto que no es una objeción.

4.2.1.- MODELIZACIÓN DEL PROCESO DE CRISTALIZACIÓN

Nielsen (1985) desarrolla un programa para modelizar los procesos de cristalización fraccionada en magmas máficos a baja presión, programa que perfecciona posteriormente (Nielsen, 1988a y b;). El programa calcula la primera fase (o fases) en cristalizar y la sustrae (a intervalos prefijables) del magma original, calculando a continuación la nueva fase (o fases) que cristalizan así sucesivamente. Permite múltiples variaciones, en lo que se refiere a las condiciones de cristalización, fugacidad de oxígeno, etc. así como complicar el modelo por asimilación, recarga, erupción, etc.

Nosotros lo hemos aplicado aquí en su parte más sencilla, para un modelo de cristalización fraccionada normal sin recarga, descarga, ni asimilación, pues nuestro objetivo es modelizar la evolución general de la Serie I y para los otros procesos, más de detalle, se requieren a su vez datos y estudios más minuciosos. Para el modelo general hemos empleado como fugacidad de oxígeno la correspondiente al QFM (confirmada a partir del par ilmenita- magnetita). La modelización con otras

oxidaciones como la real o las recalculadas a Le Maitre (1976), etc. dan resultados incoherentes con cristalizaciones casi exclusivamente de óxidos de Fe-Ti.

En las figuras 44, 45 y 46, hemos señalado las temperaturas de aparición de cada fase, para cada serie. Los resultados son muy parecidos para todas las series, de forma que puedan establecerse unas reglas de evolución general.

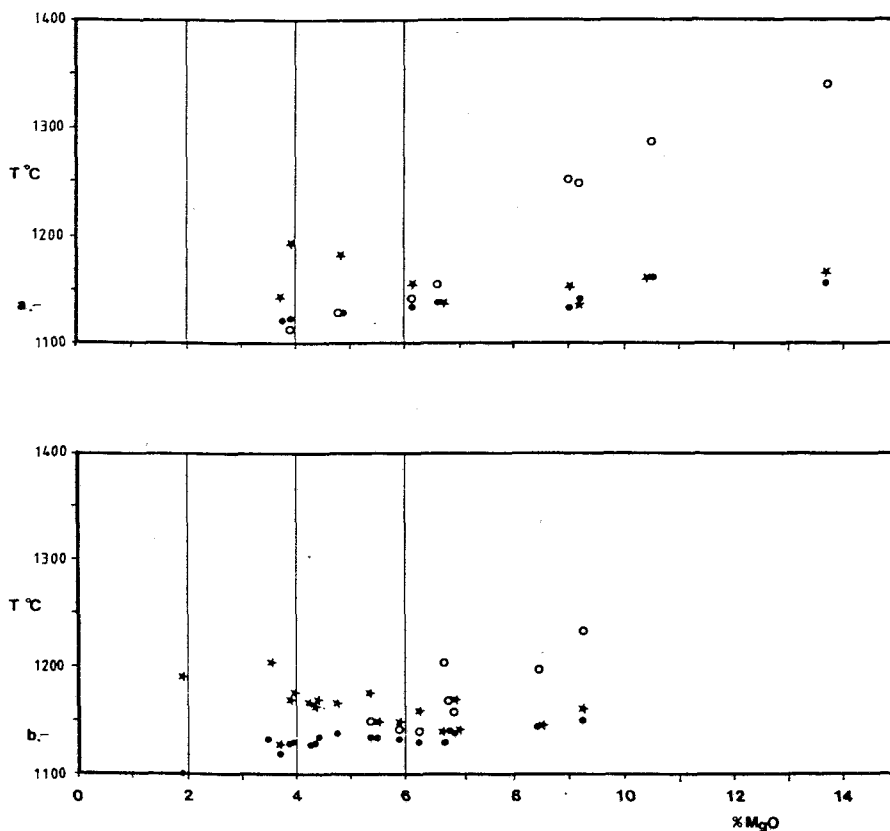


Figura 44.- Variación de la temperatura de cristalización en función del contenido en MgO de la roca. Círculo blanco: olivino. Círculo negro: clinopiroxeno. Estrella: plagioclasa. EDIFICIO NORTE: a.- Serie I Inferior. b.- Serie I Superior.

4.2.1.1.- Basaltos

El olivino es la primera fase en cristalizar a temperaturas muy superiores a las del resto de las fases. La temperatura de comienzo de cristalización del olivino descende con el contenido en MgO de la roca, de forma que podemos establecer una correlación entre contenido en MgO, temperatura y composición del olivino:

MgO: > 11%	T: > 1300°C	%Fo > 85
MgO: 10-11%	T: 1250°-1300°	%Fo: 84-85
MgO: 8-10%	T: 1200°-1250°	%Fo: 81-84
MgO: > 6,5-8%	T: 1150°-1200°	%Fo: 78-81

MgO: > 6,5% T: 1100-1150° %Fo: 75-80

La correlación se pierde al llegar a valores menores del 6,5% de MgO.

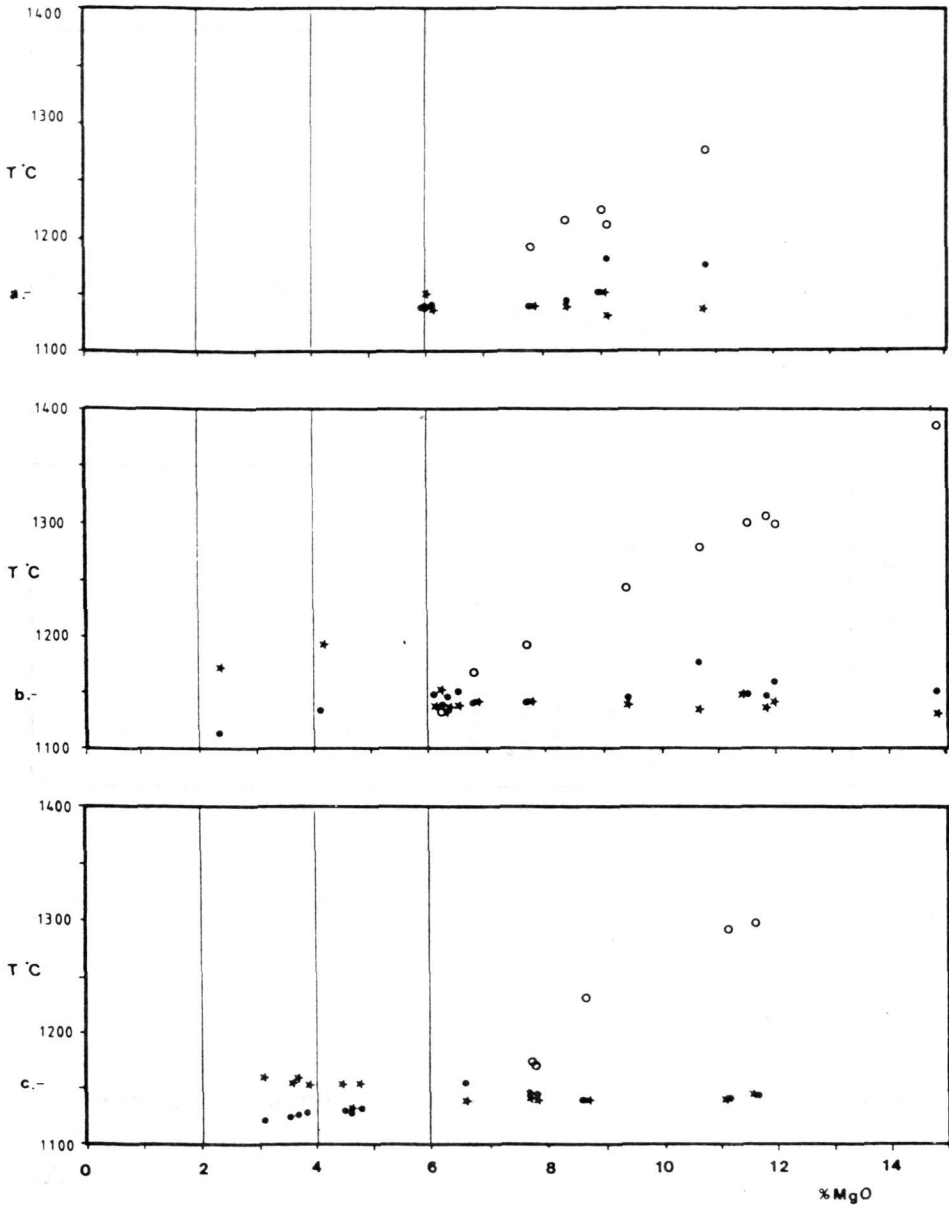


Figura 45.- Variación de la temperatura de cristalización en función del contenido en MgO de la roca. Círculo blanco: olivino. Círculo negro: clinopiroxeno. Estrella: plagioclasa. EDIFICIO CENTRAL: a.- Serie I Inferior. b.- Serie I Intermedia. c.- Serie I Superior.

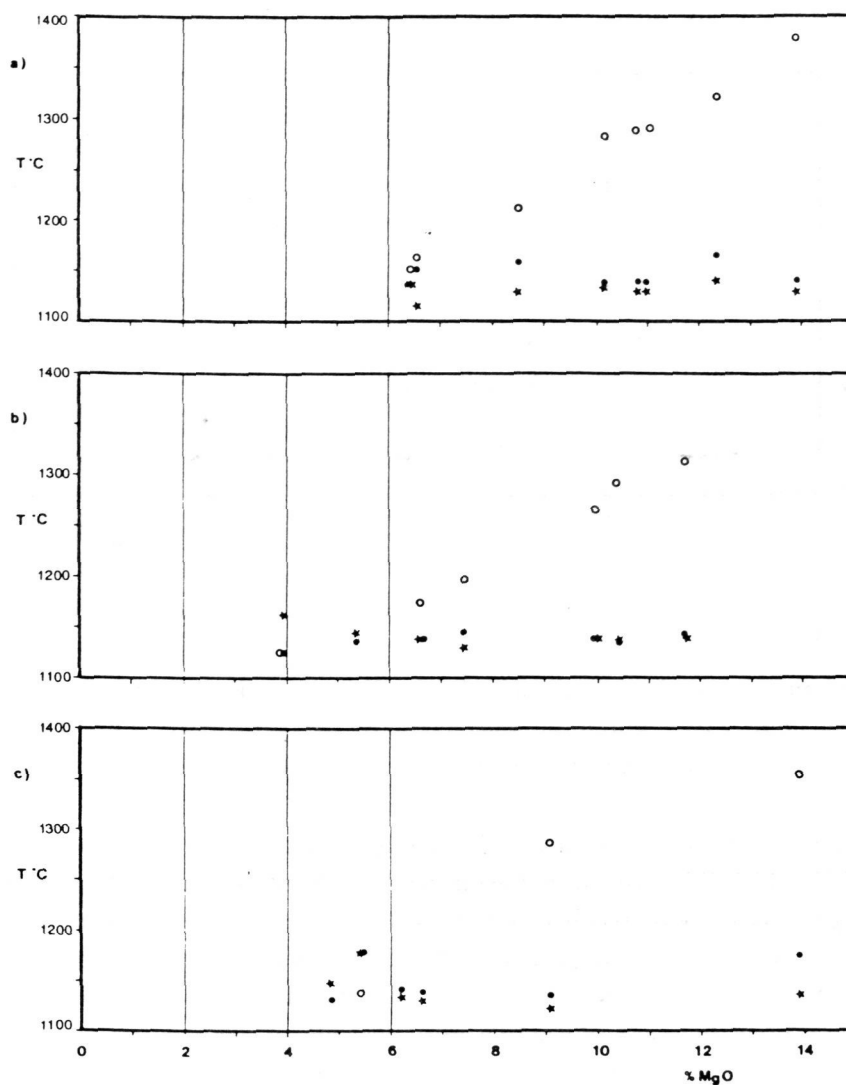


Figura 46.- Variación de la temperatura de cristalización en función del contenido en MgO de la roca. Círculo blanco: olivino. Círculo negro: clinopiroxeno. Estrella: plagioclasa. EDIFICIO SUR: a.- Serie I Inferior. b.- Serie I Intermedia. c.- Serie I Superior.

La comparación de la composición de los olivinos calculados y los medidos (fig.47) permite comprobar una concordancia bastante buena entre los calculados (que serían los primeros cristalizados) y los equivalentes reales que podrían estar representados por los fenocristales más forsteríticos. Algunos son algo más magnésicos que lo calculado, por lo que podrían interpretarse como xenolíticos o heredados. La oceanita que tiene el mayor contenido en MgO (>19%) tiene unos olivinos (Fo<86) que no están de acuerdo con lo que correspondería a un magma con ese magnesio (Fo=91, según

el programa de Nielsen), lo que indica que se trata de una acumulación de cristales de una roca con menos magnesio originalmente (del orden del 11%).

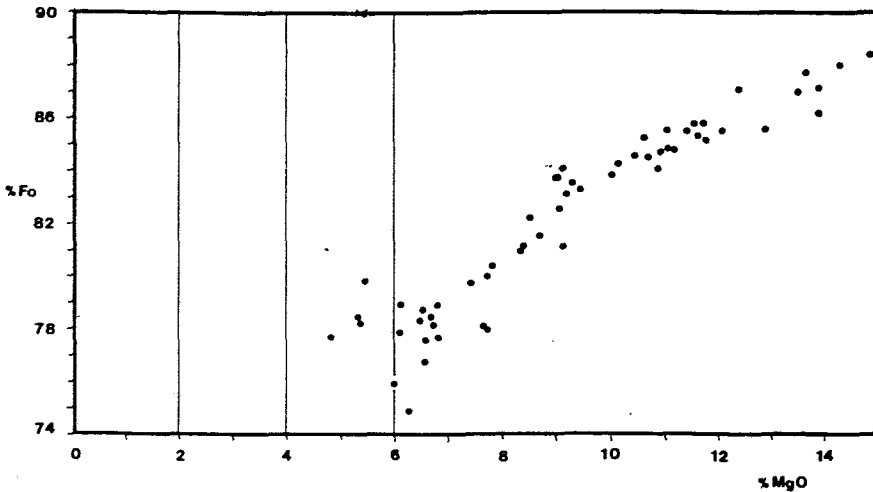


Figura 47.- Variación de la composición del primer olivino cristalizado, calculado según Nielsen (1985), y el contenido en MgO real de la roca.

Las temperaturas de cristalización del **clinopiroxeno** en los basaltos es muy homogénea: entre 1125° y 1178°C y su composición varía poco: En48-En43 sin que exista correlación alguna entre temperatura de cristalización o composición y MgO de la roca.

La temperatura de cristalización de la **plagioclasa** en los basaltos también varía poco (1122° - 1171°C), casi en el mismo rango que los piroxenos, lo que indica, en términos generales, una cristalización de los mismos en un momento similar. El contenido en anortita de esa primera plagioclasa varía entre An68 y An41, menos cálcicos que algunos de los términos reales pero bastante similares a ellos.

Aún con temperaturas similares de cristalización, el clinopiroxeno es el segundo mineral en cristalizar, ligeramente anterior que la plagioclasa o contemporáneo con ella. El clinopiroxeno suele cristalizar antes que la plagioclasa sobre todo en los basaltos más ricos en magnesio.

Parece existir una cierta correlación entre Edificio y momento relativo de cristalización de la plagioclasa (figs.44, 45 y 46). Así la plagioclasa sólo cristaliza antes que el piroxeno en los basaltos en el Edificio Norte Inferior, el más claramente transicional- ligeramente alcalino. En el Edificio Central Superior y en el Edificio Sur Intermedio (también en parte ligeramente alcalina-transicional) plagioclasa y clinopiroxeno cristalizan al tiempo. En el resto lo hace antes el clinopiroxeno que la plagioclasa.

4.2.1.2.- Traquibasaltos

El límite basaltos-traquibasaltos (aproximadamente el 6% de MgO, según el modelo que comentamos) es un límite de gran entidad en la evolución de estas rocas, aunque el tránsito se situaría exactamente entre el 6,1 y el 6,8%. Coincide con el cambio en las condiciones de cristalización. Las temperaturas de cristalización de los tres minerales son muy parecidas por descenso de la del olivino, no por aumento de las otras dos (figs. 44, 45 y 46).

El olivino deja de ser el primer mineral en cristalizar, en todas las series más o menos en el mismo momento. Coincide petrográficamente con la desaparición del olivino como fenocristal y el desarrollo de piroxeno y plagioclasa como fenocristales únicos. La plagioclasa pasa a ser el primer cristalizado, su temperatura de cristalización aumenta y tiende a hacerse más anortítica. Esto puede ser debido a que tiene más Ca disponible en el magma por no estar cristalizando clinopiroxeno.

La temperatura de cristalización del clinopiroxeno tiende a bajar ligeramente, pues se mantiene entre 1125° y 1150°.

El olivino deja de cristalizar y no comienza a hacerlo hasta que el líquido no aumenta su contenido en MgO (por cristalización de plagioclasa esencialmente) alcanzando valores del 6%, para a continuación desaparecer enseguida como consecuencia del nuevo empobrecimiento en MgO del líquido. Su composición se hace más variable (fig. 47).

El cambio en el orden de cristalización se produce aproximadamente de la siguiente forma: en rocas con MgO: 6,4 - 6,8% el olivino o el clinopiroxeno son los primeros en cristalizar; en rocas con MgO: 6,1 - 6,4% son el clinopiroxeno o la plagioclasa los primeros, y en rocas con MgO 6,1% es la plagioclasa la primera.

De esta forma a partir del 6% de MgO las rocas se caracterizan por cristalización temprana de plagioclasa seguida del clinopiroxeno, con olivino sólo esporádico. La cristalización del olivino se prolonga hasta menores contenidos en MgO en el Edificio Norte Inferior, en el que cristalizaba antes plagioclasa que clinopiroxeno.

4.2.1.3.- Traquiandesitas

Existe menos información sobre estas rocas al ser menos frecuentes. Sus características generales son: no aparición de olivino (sólo algún caso raro), cristalización primera de la plagioclasa y cristalización más tardía de clinopiroxeno.

La diferencia de temperatura entre plagioclasa y clinopiroxeno es mucho mayor que la observada para las rocas más básicas antes mencionadas. El clinopiroxeno cristaliza por lo general entre 1097° y 1129°C y la plagioclasa entre 1152° y 1217°C.

4.2.1.4.- Traquitas

El modelo de Nielsen no está desarrollado específicamente para rocas sálicas, sin embargo, en la mayor parte de los casos, el líquido final de la cristalización de cada

modelo, cuando ha cristalizado del orden del 80% es, a grandes rasgos, traquítico, con valores de SiO₂ en torno al 60%, lo que apoya su origen por cristalización fraccionada.

Al margen de estas pautas referidas a cada tipo rocoso, conviene señalar otros aspectos. Así en los modelos con el programa de Nielsen, clinopiroxeno, plagioclasa (más espinela) siguen cristalizando hasta el final de la cristalización (hasta que el programa no puede seguir, que suele ser con el 80% de la roca cristalizada). Por el contrario, el olivino no alcanza nunca el final de la cristalización y suele desaparecer cuando lleva cristalizado un 20-40% del líquido (algo más cuanto más magnésica es la roca), coincidiendo con el momento en el que el líquido resultante tiene aproximadamente un 6% de MgO.

4.2.2.- TASAS DE CRISTALIZACIÓN - EXTRACCIÓN

En un proceso de cristalización fraccionada el enriquecimiento de un determinado elemento totalmente incompatible ($D=0$), es: $C_1/C_0 = 1/F$; siendo F la cantidad del líquido residual. Se puede, por tanto, valorar a partir de esos elementos cual sería el porcentaje de cristalización necesario para pasar de unos tipos de rocas a otros. El problema reside en seleccionar elementos con $D=0$. Para una misma tasa de fraccionación, cuanto más pequeño es D mayor es el enriquecimiento, o lo que es lo mismo, cuanto mayor sea el enriquecimiento más próximo está ese elemento a un $D=0$.

En el diagrama La/Yb - La (fig.42) podemos expresar gráficamente cuál sería el grado de cristalización según este criterio. Suponiendo que el $D_{La} = 0$ y partiendo de unas composiciones originales próximas a las de la línea continua, vemos que valores de extracción del orden del 10-20% apenas modifican la concentración y que lógicamente ésta se modifica más, por un lado cuanto mayor es la extracción y por otro cuanto mayor era la concentración inicial. Si $D \neq 0$ entonces se necesitaría mayor extracción para poder enriquecer en igual cantidad, por lo que hemos de considerar esos valores como mínimos. Por el mismo motivo si consideramos distintos elementos incompatibles, el valor más alto será el más próximo al correcto.

Se puede hacer el cálculo también a partir de elementos compatibles como el Cr o Ni; sin embargo, el resultado es más problemático pues al ser $D \neq 0$ y mucho mayor que 1, varía notablemente según se considere un proceso en equilibrio o no y según el valor de D que se utilice.

En la Tabla 6 se incluyen algunos resultados como ejemplos. Puede verse que en general La, Nb, Th e Yb se comportan de forma similar en cuanto a incompatibilidad. Los resultados son más dispares con las rocas más sálicas donde es posible que varios de esos elementos no se comporten como incompatibles. En general, podemos decir que las diferencias entre basaltos corresponden a cristalizaciones menores al 20%. El paso basalto-traquibasalto puede suponer del orden del 30-35 % de cristalizado, mientras que el paso basalto-traquiandesita puede representar una cristalización del orden del 60%.

A partir del análisis de la variación de elementos mayores puede también cuantificarse la magnitud del proceso de cristalización. El MgO, como mejor índice de variación, es el elemento que más puede aportar en este sentido. En los términos más básicos el olivino es el que más controla su variación, pero como vimos, la ausencia de variación en el contenido en CaO indica una importante participación de clinopiroxeno. La simple resolución geométrica permite estimar a partir de un diagrama CaO - MgO que la participación media del clinopiroxeno puede acercarse al 50% del total cristalizado. Tomando esta proporción como válida para la media del conjunto, podemos calcular cuál tendría que ser el porcentaje de extracción (Tabla 6).

Tabla 6.- Cálculo de la tasa de cristalización a partir de elementos incompatibles.

Rocas	Tipo	La	Nb	Th	Yb	Y	MgO
404-403	B-TAB	20	39	34	19	12	32
209-203	TB-TA	16	15	29	30	25	22
805-806	B-TA	79	70	69	67	61	49
802-806	BTB-TA	66	46	32	59	54	29
905-906	B-BTB	25	30	25	21	23	21
906-908	BTB-TAB	37	40	51	34	28	18
1008-1012	B-B	--	9	--	--	9	16
1012-1011	B-TAB	38	34	--	43	37	23
1501-1503	B-B	18	11	19	--	--	18
1702-1703	B-TAB	34	34	44	21	20	33
1702-1603	B-TB	12	13	34	10	14	19
1901-1902	B-TB	50	47	59	42	36	56
1902-1907	TB-T	33	20	60	5	26	16

La coincidencia es muy buena para los pasos basalto-traquibasalto y en cambio es peor o mala para rocas más sálicas donde sabemos que el olivino no participa.

Con esa participación de olivino y clinopiroxeno, podemos estimar (como norma general) que, si consideramos unos magmas iniciales con 14% de MgO, las rocas con 12% de MgO se habrían formado por procesos de extracción del orden del 12% (Tabla 7). Las rocas con 10% de MgO, por 20% de extracción. Las rocas con 8% de MgO, extracción del 37% y las rocas con el 6% de MgO (que representarían la extracción para el paso basalto-traquibasalto) por cristalización del 49% de olivino más clinopiroxeno.

El Al_2O_3 es el óxido que más aumenta, indicando que es el que menos participa en la cristalización. Si suponemos que tiene una participación nula, podemos también estimar la porción de extracción para cada grupo de rocas y dada la excelente correlación Al_2O_3 - MgO compararla con la anterior (Tabla 7).

Los resultados son muy parecidos con poca extracción y se van alejando poco a poco. Una simple variación en la proporción del clinopiroxeno que pasara a participar

más con la evolución, igualaría los resultados. La tasa de extracción a partir del Al_2O_3 sería pues más fiable al no estar influenciado por las proporciones relativas de los máficos. El paso desde los basaltos más básicos (14% MgO) a traquibasaltos se produciría por extracción del orden del 45% de máficos, a traquiandesitas basálticas: 55% y a traquiandesitas: 65%.

Tabla 7.- Equivalencia entre contenidos medios de MgO y Al_2O_3 en la evolución magmática y tasas de extracción calculadas a partir de uno y otro elemento, suponiendo extracción de olivino y clinopiroxeno en proporciones iguales.

MgO	Al_2O_3 Equivalente	% Extr. MgO (50%Ol-50%Cpx)	% Extr. Al_2O_3
14	10.8	0	0
12	12.0	12.3	11.1
10	13.2	24.6	22.2
8	14.4	36.9	33.3
6	15.6	49.2	44.4
4	16.8	61.5	55.6
2	18.0	73.8	66.7
1	18.6	80.0	72.2

Los resultados son análogos a los calculados a partir de elementos menores incompatibles (Tabla 6) y si, en aquel caso las tasas de extracción son algo menores que en el paso basalto-traquibasalto es porque no se trata del paso extremo, desde el basalto más básico a traquibasaltos, sino pasos intermedios.

4.2.3.- MODELOS DE EXTRACCIÓN

Otro tipo de cuantificación del proceso de cristalización fraccionada puede hacerse a partir del planteamiento de ecuaciones para elementos mayores y resolución mediante ajuste por mínimos cuadrados (ver por ejemplo Ancochea 1982). El método tiene su mayor interés para modelizar cámaras o procesos petrogenéticos en detalle, pero puede también servir para obtener una aproximación al proceso general. Nosotros lo hemos usado aquí en esa segunda vertiente dejando para posteriores trabajos los estudios de detalle.

Hemos modelizado, por tanto, algunos de los pasos representativos, tomando como significativos los ya analizados con anterioridad en la Tabla 6, siguiendo el método de Stormer y Nicholls (1978). En principio, un buen residual es indicio de que el modelo es factible. Sin embargo, esto no es cierto en sentido absoluto. El residual es función del número de fases que utilicemos y tan es así, que si el número de fases es igual al número de elementos químicos que consideramos en el problema, la solución es única y el residual es cero (aunque el resultado sea geológicamente incoherente).

Por otro lado, el residual (que no es más que una expresión de lo que se aleja en el modelo de la realidad) es función también de lo parecidas que sean las rocas inicial y final, de modo que si son iguales el residual es cero. Eso quiere decir que no es mejor

resultado un residual bajo que se considera bueno (como por ejemplo 0,5) en un paso de un basalto a otro, que un residual de 7 en un paso basalto-traquiandesita. Es frecuente así encontrar en la literatura petrológica modelos con bajos residuales que se obtienen fraccionando el modelo general en pequeños pasos, cuando si se considera todo el proceso en su conjunto el residual puede ser enorme.

En la Tabla 8 hemos resumido los modelos más viables y el paso que representan (expresado en la diferencia de MgO entre la roca inicial y final). Hemos usado sólo tres minerales, olivino, clinopiroxeno e ilmenita, porque si interviene plagioclasa se acumula, lo que no es real en la mayor parte de los casos (podría serlo en algún basalto plagioclásico). La plagioclasa sólo empieza a intervenir en las rocas más sálicas de las que no tenemos suficientes modelos fiables y no es conveniente comparar traquiandesitas de una serie con traquitas de otra.

Tabla 8.- Modelos de cristalización, mediante ajuste de ecuaciones.

Nº Rocas	Tipo de paso	% Ol.	% Cpx.	% Ilm.	Resid.	% Cris.	Δ MgO Inic-Fin.
1008-1012	B-B	7.3	2.4	0.7	0.89	10.4	2.94
1501-1503	B-B	9.3	--	3.4	2.60	12.7	2.88
905-906	B-BTB	8.9	10.5	2.0	0.65	19.4	4.11
1702-1603	B-TB	8.8	7.3	0.9	0.89	17.0	3.81
1901-1902	B-TB	17.7	21.3	3.7	11.2	42.7	9.12
404-403	B-TAB	11.8	18.5	3.2	4.6	33.5	6.33
1702-1703	B-TAB	11.7	20.5	4.7	6.0	36.9	6.5
1012-1011	(B)-TAB	10.1	8.4	1.8	9.4	20.3	5.01

Los modelos dan soluciones incoherentes para FeO y Fe₂O₃ reales o incluso algo recalculados, por lo que se ha considerado FeO_T y por tanto sin magnetita. En un modelo con FeO > Δ QFM, una parte de la ilmenita sería sustituida por magnetita.

De los resultados puede deducirse:

- El residual aumenta cuanto más diferentes son las rocas (Δ MgO mayor).
- El residual aumenta con la tasa de cristalización y lógicamente ésta lo hace con la diferencia entre rocas.
- En los términos más básicos la participación de olivino frente a piroxeno es algo mayor, pero en general puede considerarse que se extrae en proporciones similares.
- Las cantidades de extracción son análogas a las deducidas por los métodos antes expuestos (Tablas 6 y 7).

4.3.- CONDICIONES DE GENERACIÓN DE LOS MAGMAS PRIMARIOS

4.3.1.- MAGMAS PRIMARIOS

El primer criterio para identificar magmas primarios ha sido siempre la presencia de enclaves mantélicos (Green, 1969; Basu, 1977, Frey et al., 1978, etc). Las rocas de la Serie I no poseen enclaves en términos generales, aunque sí hay algunos niveles esporádicos que los contienen. En el caso de las nefelinitas olivínicas sí están presentes, por lo que podríamos considerarlas por ello magmas primarios.

El valor MG ($100 \text{ Mg}/(\text{Mg}+\text{Fe}^{2+})$), con Fe^{2+} recalculado según distintos criterios, suele usarse también como indicador de magmas primarios. Green (1971) con $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+} = 0,15$ supone MG entre 68 y 75 para magmas primarios, Brey (1978) para $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO} = 0,15$ supone primarios los que tienen MG entre 65 y 73.

El contenido en Ni entre 300 y 450 ppm o 90 y 670 ppm, ha sido considerado por Allegre et al. (1977) y Frey et al. (1978) respectivamente, también como característico de magmas primarios. Una pequeña extracción de ferromagnesianos reduce notablemente estos valores y una acumulación los aumenta. Rocas con $\text{MG} > 67$ y Ni entre 200 y 400 ppm han sido consideradas primarias en el caso del vulcanismo alcalino de Campos de Calatrava (Ancochea, 1982).

En la Serie I, las rocas con más de 10% de MgO tienen, en general, más de 300 ppm de Ni, Cr superior a 500 ppm y el valor de MG mayor de 63. Es decir reúnen características próximas a las de magmas primarios.

Al utilizar estos criterios uno de los problemas radica en que una acumulación de fenocristales de máficos puede dar lugar a rocas con altos valores de MG, Ni y Cr, sin que eso indique que son magmas primarios. El problema no es grave en algunos aspectos, por ejemplo, las relaciones entre incompatibles no variarán en su concentración y, en cierto modo, la acumulación producirá un efecto similar al de si recompusiéramos el quimismo original.

4.3.2.- ESTIMACIÓN DE LA COMPOSICIÓN PRIMARIA

Un análisis de los diagramas de variación (figs.37, 38 y 39) pone de manifiesto que, aunque escasas, hay ciertas diferencias en los términos básicos y algunas de ellas parecen sistemáticas. Así las rocas básicas del Edificio Central, en su conjunto, parecen poseer menores contenidos en Ba, Sr, Y, Zr, Nb, Th y Zn que las del Edificio Sur.

Ahora bien, para poder valorar estas diferencias en su justa medida, tenemos que separar aquellas debidas a procesos de extracción - acumulación de minerales, de las debidas a condiciones originales del magma y dentro de estas últimas, las producidas por diferencias en el grado de fusión parcial o de composición del manto o por otras causas. El primer paso para poder comparar es estandarizar todas las rocas a una misma composición "primaria" (o más bien pseudoprimaria).

La mayor parte de las rocas de la Serie I con contenidos de MgO entre 10% y 14% reúnen características primarias. Podemos reconstruir el proceso de

cristalización-(acumulación - extracción) a un valor de MgO incluido en ese rango y hemos elegido MgO= 12%. Para todas las rocas basálticas (MgO> 6%) hemos supuesto una cristalización en partes iguales de olivino y clinopiroxeno y añadido o substraído estas fases hasta alcanzar un 12% de MgO. A continuación hemos efectuado la media para cada serie.

El método tiene inexactitudes, la primera es que no siempre tiene por qué haber sido una extracción a partes iguales de olivino y clinopiroxeno, pero éste es el valor medio y las diferencias existentes pueden quedar atenuadas al hacer la media para cada serie. De todas formas, al efectuarlo se comprueba que los valores dispersos que observamos en el conjunto de los análisis se concentran enormemente, indicando la validez general del método.

Lo hemos efectuado (Tabla 9) sólo para los elementos más incompatibles por ser los que no varían en función de los coeficientes de reparto elegidos y para los que, en cualquier caso, el método no modifica las proporciones relativas. Se han seleccionado La e Yb como representativos de tierras raras ligeras y pesadas, respectivamente.

Tabla 9.- Composición media en elementos incompatibles de las distintas series, normalizadas a MgO=12%.

	K ₂ O	P ₂ O ₅	Rb	Zr	Nb	La	Yb	Th	Y	Sr	Ba
N.IB	0.37	0.67	17	255	58	43.5	1.2	8.10	20.6	589	379
N.IA	0.92	0.66	25	220	37	35.0	1.6	2.77	24.3	586	209
N.Sp	--	0.41	24	197	37	27.5	1.22	3.70	17.6	445	277
C.I	0.71	0.41	19	204	42	23.2	1.06	3.9	15.6	477	219
C.Md	0.77	0.43	19	208	38	30.1	1.37	3.0	21.4	501	211
C.Sp	0.70	0.41	17	193	34	24.6	1.25	3.2	21.3	515	192
Meld	0.75	0.63	16	227	47	30.4	1.23	3.0	18.8	620	233
Tam	0.77	0.95	18	310	82	46.5	1.58	5.2	25.1	968	540
S.I	1.09	0.60	25	307	74	66.5	1.75	6.2	27.7	777	377
S.Md	0.85	0.51	18	276	53	45.2	1.58	4.5	27.3	595	238
S.Sp	0.87	0.54	21	295	60	51.7	1.67	5.0	29.1	669	260
Ang.	0.94	0.87	15	354	76	68.2	1.74	5.7	33.6	1062	390

4.3.3.- ESTIMACIÓN DEL GRADO DE FUSIÓN

Aunque en la Tabla 9 pueden analizarse las diferencias composicionales entre series, queda sin saber cuáles son debidas al grado de fusión parcial y cuáles a otros factores. La estimación del grado de fusión, si no se conocen las proporciones relativas de las fases del residuo ni el tipo de fusión, sólo puede efectuarse con elementos con D=0, es decir, que no sean retenidos en el residuo. Tradicionalmente se suele hacer a partir del K₂O, P₂O₅ o tierras raras.

El problema para la estimación radica además en conocer la concentración original de esos elementos en el manto. Si usamos los valores del P₂O₅ y K₂O del pirolito (0,06 y 0,13% respectivamente), obtenemos unos grados de fusión parcial

(Tabla 10). La movilidad del K_2O y la duda de que pueda haber una fase potásica en el residuo, no hacen aconsejable su utilización. El valor obtenido con el P_2O_5 puede ser una aproximación más razonable.

Tabla 10.- Estimación del grado de fusión parcial (%) a partir de distintos elementos.

	K_2O Pírolito	P_2O_5 Pírolito	La Condrito	Yb
Edificio Norte				
Inferior Bajo	--	9.0	0.8	18.0
Inferior Alto	14.1	9.1	0.9	13.8
Superior	--	14.6	1.2	18.0
Edificio Central				
Inferior	18.3	14.6	1.4	20.8
Intermedio	16.9	14.0	1.1	16.1
Superior	18.6	14.6	1.3	17.6
For.Melindraga	17.3	9.5	1.1	17.9
For.Tamacite	16.9	6.3	0.7	13.9
Edificio Sur				
Inferior	11.9	10.0	0.5	12.6
Intermedio	15.3	11.8	0.7	13.9
Superior	14.9	11.1	0.6	13.2
F.Angost.	--	6.9	0.5	12.6

En el Edificio Norte, el grado de fusión aumentaría del 9% al 14%, del Inferior al Superior.

En el Edificio Central, las tres Series principales se habrían formado por similar grado de fusión, igual que el Edificio Norte Superior, un 14 - 15%. Las formaciones Melindraga y Tamacite, se originarían por menor grado de fusión parcial (9,5 - 6,3%, respectivamente), de acuerdo con su mayor alcalinidad.

El Edificio Sur se habría formado por menor tasa de fusión, 10 - 12%, con un mayor grado (11,8%) en el Intermedio. La Formación La Angostura, más alcalina, se formaría por un 7%.

Si calculamos el grado de fusión parcial a partir del lantano (Tabla 10), vemos que los grados de fusión son demasiado bajos para ser reales. Ello es debido, como ya indicaron en su día distintos autores (Sun y Hanson, 1975; Frey et al., 1978, etc.), a que la composición del manto no debe ser condrítica, sino que está enriquecido en determinados elementos (metasomatizado) y entre ellos en tierras raras ligeras. Los valores de fusión calculados a partir del Yb están, en cambio, en un rango relativamente parecidos a los calculados con K_2O_5 o P_2O_5 aunque no en el detalle,

lo que indicaría composiciones del manto en Tierras Raras Pesadas más parecidas a las del condrito.

4.3.4.- ANÁLISIS DE LAS DIFERENCIAS COMPOSICIONALES PRIMARIAS

Tomando como representativos los valores de fusión parcial calculados a partir del P_2O_5 , podemos aproximarnos a la composición del manto. Para cualquier elemento:

$$C_o = C_L \times F \text{ (para } D=0\text{)}$$

Si $D > 0$, entonces la composición original (C_o) es mayor. Por tanto, suponiendo un $D=0$, podemos calcular la concentración mínima de los elementos y consiguientemente el enriquecimiento mínimo para cada elemento. Este enriquecimiento sería menor de 2 para Y e Yb, de 2 a 5 veces el condrito para Rb Y Zr, de 5 a 10 veces el condrito para Sr, Ba y muy variable, hasta 19 veces para La y Nb.

Las diferencias composicionales más evidentes en un análisis general de las rocas de la Serie I son, por un lado, los menores contenidos en general, de elementos incompatibles del Edificio Central con respecto al Sur y, por otro, los mayores contenidos en incompatibles de las Formaciones Locales y de la Formación La Angostura.

Hay que destacar que esas diferencias se refieren a todos los incompatibles, lo que descarta que puedan ser debidos a la presencia de fases menores en el residuo como flogopita que retuviera diferencialmente K, Rb, Ba o anfíbol (que concentra K, Ti e Y).

Independientemente de la variable que usemos para cuantificar la tasa de fusión, parece claro que en cuanto al grado de fusión parcial, podemos considerar los siguientes grandes grupos:

- Fusión mayor (tasa aproximada 14-15%): Edificio Norte Superior, Edificio Central Inferior, Intermedio y Superior.
- Fusión media (tasa aproximada 9-12%): Edificio Norte Inferior, Formación Melindraga. Edificio Sur Inferior, Intermedio y Superior.
- Fusión menor (tasa aproximada 6-7%): Formación Tamacite, Formación La Angostura.

En general, el grado de fusión parcial disminuye con el tiempo, pero en el Edificio Norte no es así y posiblemente tampoco en el Edificio Sur Inferior (Tabla 10). Estas variaciones del grado de fusión parcial permiten pues justificar la mayor parte de las diferencias composicionales, ya que, a menor grado de fusión parcial le corresponde mayor contenido en incompatibles y efectivamente las Formaciones Locales son las más ricas en incompatibles y las de menor fusión. El Edificio Sur estaría formado por menores porcentajes de fusión que el resto y es también el de mayor concentración en dichos elementos.

Existe además una clara correlación entre el grado de fusión parcial y el volumen emitido - tamaño del edificio. El Edificio más grande, el Central, se formaría por

mayor fusión parcial, el Edificio Norte Superior, de similar tamaño, se formaría por similar grado de fusión. El Edificio Sur, más pequeño, se originaría por menor grado de fusión parcial.

Las relaciones La/Yb de todas las rocas son relativamente elevadas, desde 20 a 40 (no normalizadas) (13 a 26 normalizadas) (Tabla 11 y fig 42). Este enriquecimiento en tierras raras ligeras indica la presencia de granate en el residuo de la fusión y es así para todas las series. Sin embargo, las series presentan enriquecimientos muy variables (fig. 48). El Edificio Central y el Edificio Norte Superior son similares entre sí, los Edificios Sur Intermedio y Superior también lo son, pero son distintas a los anteriores. Todas estas diferencias no pueden deberse a variaciones en el grado de fusión parcial y tienen que estar ocasionadas por diferencias originales en la fuente.

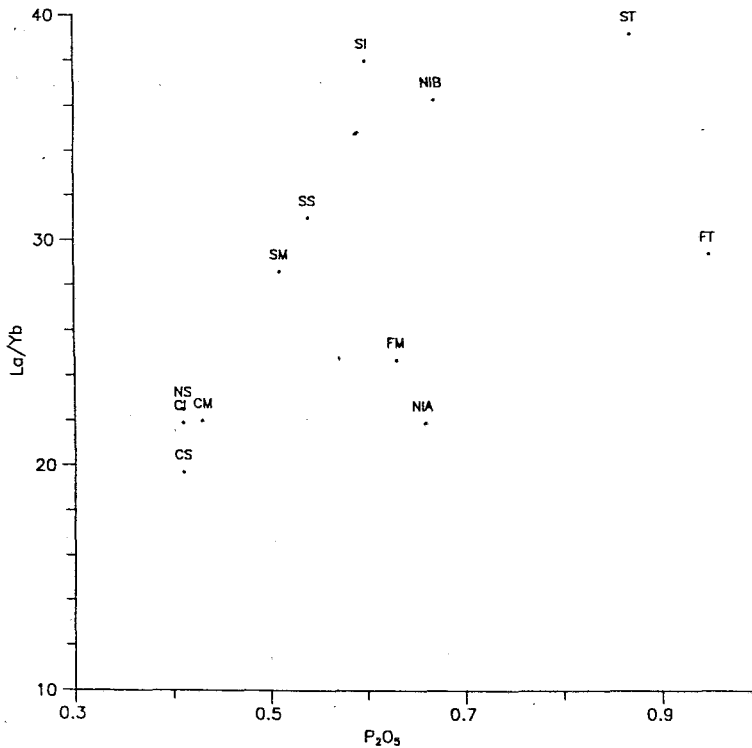


Figura 48.- Diagrama La/Yb - P₂O₅.

Las relaciones entre elementos incompatibles con igual coeficiente de reparto permanecen constantes durante la fusión y cristalización y son, por tanto, reflejo de las relaciones existentes en la fuente del magma y una buena forma de analizar heterogeneidades. Para un manto con ol+cpx+opx+gt+sp. La incompatibilidad relativa suele considerarse como: Rb - Ba > Th > K > Nb > La > Ce (Sun y Nesbitt, 1978; White y Schilling, 1978; Chen y Frey, 1985) por lo que las relaciones entre elementos de

incompatibilidades más similares (como Rb/Ba o Nb/La o Ba/Th) pueden ser las más significativas.

Tabla 11.- Relaciones medias entre elementos incompatibles.

	La/Yb	Rb/Ba	Ba/Th	Th/Kx1000	K/Nb	Nb/La
Edificio Norte						
Ed.N.Inf.Bajo	36.3	0.04	46.7	1.38	135	1.33
Ed.N.Inf.Alto	21.9	0.12	74.6	0.37	207	1.06
Ed.N.Superior	22.5	0.09	74.9	--	--	1.35
Edificio Central						
Ed.N.Inferior	21.9	0.09	56.2	0.66	140	1.81
Ed.N.Intermedio	22.0	0.09	70.3	0.47	168	1.26
Ed.N.Superior	19.7	0.09	60.0	0.55	170	1.38
For.Melindraga	24.7	0.07	77.7	0.48	133	1.55
For.Tamacite	29.4	0.03	103.9	0.81	78	1.76
Edificio Sur						
Ed.S.Inferior	38.0	0.07	60.8	0.68	122	1.11
Ed.S.Intermedio	28.6	0.08	52.9	0.64	133	1.17
Ed.S.Superior	31.0	0.08	52.0	0.69	120	1.16
F.La Angostura	39.2	0.04	68.4	0.73	103	1.11

En la Tabla 11 se incluyen todas ellas. Las conclusiones son varias: Existe una evidente heterogeneidad composicional entre las fuentes. Las diferencias son más patentes entre edificios, que entre series de un mismo edificio.

En el Edificio Norte, las conclusiones no son claras, por lo poco fiable de los datos de la Serie I Inferior Baja y por las heterogeneidades del K₂O en el Edificio Superior. La relación Ba/Th es análoga en el Edificio Superior y en el Inferior (Tramo Alto) pero las otras relaciones no.

En el Edificio Central, el Intermedio y el Superior tienen similares relaciones en todos los casos, por lo que podemos decir que proceden de la misma fuente. Del Inferior y de las Formaciones Locales, no se puede decir lo mismo. La Formación Melindraga tiene una relación Th/K análoga a la Series Intermedia y Superior y es más parecida a ellas que la Formación Tamacite cuya discordancia con todas es manifiesta.

En el Edificio Sur, los Edificios Intermedio y Superior proceden de una fuente análoga. La fuente del Edificio Inferior parece también similar, aunque no idéntica. La Formación La Angostura, en cambio, procede de una fuente totalmente distinta.

CONCLUSIONES

- La Serie I de Fuerteventura representa el momento fundamental de crecimiento subaéreo de la Isla. Sin embargo, no se trata de una serie volcánica única sino que está formada por la **superposición de Edificios** diferentes.

- Dentro de la Serie I definimos **tres grandes edificios circulares**: Norte, Central y Sur, con evoluciones distintas y compuestos a su vez por varios edificios. El análisis de la batimetría, de la morfología, de la estructura y de los sistemas de diques permite caracterizar cada edificio y las unidades dentro de ellos.

- En el Edificio Norte, la **Serie I Superior** define un edificio (el Edificio Norte Superior) cuyo centro se situaría al Oeste de Los Molinos, del que sólo se conservan restos de su zona oriental y cuya edad está comprendida entre 14,3 y 12,8 Ma. Su diámetro subaéreo podría haber sido de unos 38 Km y su altura del orden de 2300 m.

- La **Serie I Intermedia o Formación Ampuyenta** representa un importante período de destrucción de un edificio anterior subaéreo.

- El **Edificio Norte Inferior** puede a su vez englobar otras varias unidades diferentes. El tramo alto, de unos 16 Ma, representa un edificio cuyo centro se situaría posiblemente algo más al Norte que el del Edificio Norte Superior. El significado de los tramos más bajos no está claro y su edad podría alcanzar al menos los 22 Ma.

- Del **Edificio Central** se conserva su parte oriental y meridional. Su centro estuvo situado en la zona de Toto-Pájara, su diámetro fué de unos 42 Km y su altura del orden de los 2600 m. Su traza circular era ya patente desde la formación del Edificio Central Inferior.

- La edad de la **Serie I Inferior** es anterior a los 22 Ma, la de la **Serie I Intermedia** entre 22 y 20 (o 18) Ma, mientras que la **Serie I Superior** está peor caracterizada.

- Las pautas radiales de los diques indican la existencia de un ligero desplazamiento del centro del Edificio con el tiempo, en una línea, a grandes rasgos, Norte-Sur.

- Existen unas **Formaciones Locales** que indican o la reactivación o los momentos siguientes a la evolución del Edificio, tras la formación de la Depresión Central. La edad de una de ellas, Formación de los Tableros, es de 13 Ma, análoga y tal vez relacionada, con la Serie I Superior del Edificio Norte. Sin embargo, la edad de las Formaciones Tamacite y Melindruga no es conocida y puede ser diferente.

- El que denominamos **Edificio Sur Inferior** puede estar englobando más de un episodio evolutivo. Representa en buena parte el momento de **emersión** de Jandía. Sus diques definen un centro situado dentro de la península de Jandía, al SE del definido por los diques de las series posteriores. Su edad es pre 17 Ma y puede estar situada entorno a los 20,7 Ma.

- El Edificio Sur Inferior concluye con un **episodio sálico**, discordante sobre lo anterior y cuya edad puede ser 19,3 Ma, si lo correlacionamos con los depósitos de caída traquíticos del sondeo DSDP 397.

- Los **Edificios Sur Intermedio y Superior** definen un tercera gran morfología cuyo centro se situaría al Norte de la península de Jandía. Su diámetro pudo alcanzar los 26 Km y su altura los 1600 m. En el paso del Edificio Sur Intermedio al Superior pudo haber un desplazamiento del foco hacia el Este. La edad de la Serie I Superior es de 15,2 a 14,2 Ma, la de la Serie I Intermedia de 17,0 a 15,4 Ma.

- El Edificio Sur Intermedio fosiliza un **importante relieve** y rellena una depresión abierta hacia el Norte, tal vez calderiforme.

- La morfología submarina del Edificio Sur señala la presencia de un **gran deslizamiento** hacia el Norte, en el que pudo estar el origen de la actual pared de Jandía. En la batimetría puede notarse la presencia de otros deslizamientos submarinos que, al igual que los subaéreos, constituyen un importante proceso en la evolución de los edificios.

- La batimetría pone en evidencia la presencia de dos **Edificios submarinos**, de dimensiones similares al Edificio Sur: el de Amanay y el de El Banquete.

- Existen datos que confirman la importancia de la fracturación dentro de la Serie I. Esta debió estar ligada a **fases tectónicas** de carácter regional de las que, una se situaría antes de los 22 Ma y otra, entre los 20 y los 16 Ma.

- Las **directrices tectónicas regionales** marcan la existencia de un rift de dirección N 55° en el Sur de Fuerteventura, N 15° en el Centro y Norte de la isla y volvería a cambiar a una dirección similar a la del Sur en Lanzarote, uniéndose posiblemente con el Banco de La Concepción. Los cambios de dirección están marcados por **uniones triples** donde se situarían algunos de los edificios más importantes.

- Los Edificios de El Banquete, el Sur y el Central de Fuerteventura surgen a lo largo de la rama más meridional del rift. Los Edificios Central y Norte de Fuerteventura y el de Ajaches definen la rama N 15° E.

- La posición de los edificios varió ligeramente en el tiempo, posiblemente a lo largo de esas mismas direcciones.

- En cada edificio, el **campo de esfuerzos local** condicionó la distribución de los diques que fue habitualmente **radial**.

- La discordancia principal entre Complejo Basal y Serie I, en la que los materiales de ésta se apoyan incluso sobre rocas plutónicas del Complejo Basal, se sitúa, en realidad, entre el Complejo Basal y la Serie I Superior o las Formaciones Melindraga y Tamacite, en relación con la segunda de las fases tectónicas antes mencionada. En cambio, el paso Serie I Inferior-Serie Submarina del Complejo Basal puede ser en muchos casos gradual.

- **Cada Edificio** tiene unas **características petrológicas y geoquímicas diferentes**.

- **Todas las rocas son alcalinas**, sin que pueda hablarse de una sucesión toleítica en sentido estricto, aunque sí transicional.

Podemos distinguir cuatro series o asociaciones:

- **Serie ultraalcalina: Asociación nefelinita olivínica-fonolita.**

- **Serie fuertemente alcalina: Asociación basanita-fonolita.**

- **Serie alcalina normal o media: Asociación basalto alcalino-traquita.**

- **Serie ligeramente alcalina o transicional: Asociación toleita olivínica-cuarzotraquita, riolita.**

De los dos primeros sólo aparecen los términos básicos.

- Para cada edificio existe una **tendencia a aumentar la alcalinidad** de la Serie **con el tiempo**, aunque los tramos más bajos de las Series Inferiores pueden ser más alcalinos por lo que no tiene por qué ser ésta una tendencia única en la isla y es posible que pueda existir más de un ciclo de este estilo.

- En el **Edificio Norte**, el **Edificio Norte Inferior**, comienza con un tramo bajo alcalino y alcalinizado, el tramo alto sería de carácter ligeramente alcalino transicional y el Edificio Norte Superior alcalino normal o medio.

- En el **Edificio Central** la actividad comenzaría con una serie ligeramente alcalina-transicional (Serie I Inferior), siendo las Series I Intermedia y Superior de alcalinidad media (normal) y las Formaciones Locales de alcalinidad normal (Formación Melindruga) a fuertemente alcalina (Formación Tableros) y ultraalcalina (Formación Tamacite).

- En el **Edificio Sur**, el Edificio Inferior sería ligeramente alcalino-transicional pero con términos de asignación dudosa, el Edificio Sur Intermedio comenzaría con un tramo de alcalino a ligeramente alcalino, pero sería esencialmente ligeramente alcalino-transicional. El Edificio Sur Superior sería de alcalinidad normal y la Formación La Angostura fuertemente alcalina o ultraalcalina.

- La diferente alcalinidad de cada Edificio y la presencia de términos muy diferenciados en varios edificios y en distintos momentos de su evolución, confirman la idea de que cada Edificio representa un ciclo independiente.

- Las rocas más abundantes de la Serie I son los basaltos, pudiendo darse como cifras orientativas que un **80%** de las rocas son **basaltos**, un **16%** **traquibasaltos**, un **4%** **traquiandesitas** y posiblemente menos de un **1%** **traquitas**.

- En general en todos los Edificios hay un **aumento** del porcentaje de **términos diferenciados con el tiempo**, lo que podría indicar el establecimiento de cámaras magmáticas estables y más importantes para esos períodos.

- En comparación con los demás, el **Edificio Norte** es el que **más términos evolucionados** presenta tanto en la Serie I Inferior (tramo alto) donde son un **28,5%** y mucho más en la Superior (**37,3%**); pero mientras en la primera hay asociadas traquitas, en la Superior no han sido encontrados estos términos.

- Dentro de los basaltos y para el conjunto de la Serie I, el **10%** son afaníticos, el **40%** son normales (< **20%** de fenocristales), el **26%** son basaltos picríticos o ankaramitas, el **10%** ankaramitas u oceanitas y el **13%** basaltos plagioclásicos.

- La **distribución** de los **tipos petrográficos** es muy **heterogénea**, destacando el que la mayor parte de los basaltos plagioclásicos se concentran en el Edificio Norte.

- En general **domina el olivino como fenocristal**, excepto en los ya mencionados basaltos plagioclásicos y en algún Edificio concreto donde predomina el clinopiroxeno (Edificio Central Inferior y Superior y Edificio Sur Inferior).

- **No se observa una correlación entre abundancia de determinados tipos basálticos** o de mayor o menor cantidad **de diferenciados y alcalinidad** de la Serie. En algún caso, parece que en las rocas de la Serie ligeramente alcalina transicional el clinopiroxeno no suele ser dominante como fenocristal.

- Hay **traquitas subsaturadas y también saturadas**, lo que se refleja normalmente en la presencia de cuarzo modal. Normativamente además las hay **peralcalinas y metalumínicas**.

- Existe una **correlación entre tipo de traquitas y Edificios** por un lado y **serie evolutiva** por otro, de forma que las traquitas del Edificio Norte Inferior son cuarzotraquitas metalumínicas; las del Edificio Central son traquitas subsaturadas y peralcalinas; las del Edificio Sur Inferior son cuarzotraquitas (o riolitas) peralumínicas y las del Edificio Sur Superior son traquitas subsaturadas y metalumínicas.

- Las **traquitas subsaturadas** se asocian con series de **alcalinidad normal o media**, mientras que las **cuarzotraquitas** lo hacen con series **ligeramente alcalinas-transicionales**.

- No existen diferencias petrográficas apreciables entre los términos básicos de las series alcalinas normales y los de las ligeramente alcalinas. En ninguna aparece piroxeno pobre en Ca y en todas olivino en la matriz. Los fenocristales de clinopiroxeno de los basaltos de las series ligeramente alcalinas suelen ser menos coloreados.

- En las series estratigráficas de detalle **no se observa una variación simple en la vertical**, (por ejemplo hacia tipos más evolucionados) sino que se suceden unos y otros tipos de forma irregular.

- El **paso basalto a traquibasalto** se caracteriza por la **desaparición del olivino** como fenocristal, lo que puede utilizarse como criterio de clasificación petrográfico análogo al del paso basanita-tefrita en la Serie fuertemente alcalina.

- Con el **paso traquibasalto-traquiandesita** coincide la **desaparición del olivino en la matriz y del piroxeno como fenocristal** importante. Criterio éste que también puede usarse petrográficamente.

- Las características composicionales de la Serie I están condicionadas por tres factores fundamentales: **cristalización fraccionada, proceso de fusión y composición original del manto fuente**.

- El modelo de cristalización de Nielsen (1985) permite analizar el **proceso de cristalización** de cada roca. Sus resultados son análogos a los que se observan para el conjunto de las series, indicando que el proceso de cristalización fraccionada es el principal responsable de la evolución magmática de la Serie I.

- Los **límites entre tipos rocosos**: basalto-traquibasalto-traquiandesita-traquita, corresponden con **cambios en las tendencias de cristalización**.

- El **olivino** es la **primera fase** en cristalizar, con temperaturas que varían desde más de 1300°C para MgO > 11% en la roca, hasta 1100° - 1150°C para MgO= 6,5%.

- La **temperatura de clinopiroxeno y plagioclasa permanece más constante** en ese rango composicional (1120° - 1180°C), cristalizando habitualmente antes el clinopiroxeno.

- En las **series ligeramente alcalinas - transicionales**, la **plagioclasa cristaliza simultáneamente o antes** que el **clinopiroxeno**.

- A partir del **6 - 7% de MgO la cristalización varía**, cristalizando antes la plagioclasa y siendo residual o inexistente el olivino. La plagioclasa, como consecuencia, se hace más cálcica.

- El cambio en la cristalización sería en esquema el siguiente: Si $MgO > 6,8\%$ el olivino cristaliza primero, si $MgO = 6,4 - 6,8\%$ el olivino o el clinopiroxeno son los primeros. Si $MgO = 6,1 - 6,4\%$ clinopiroxeno o plagioclasa cristalizan primero. Si $MgO < 6,1\%$ la plagioclasa es la primera en cristalizar.

- El origen de **las traquitas** parece justificable por **cristalización fraccionada**.

- El **paso de los basaltos más básicos a los traquibasaltos** correspondería a una extracción del orden del **40 - 45% de cristales**, esencialmente **olivino y clinopiroxeno**, en proporciones variables, pero al 50% como término medio.

- El **paso a traquiandesitas basálticas** supondría un **10% de extracción más y a traquiandesitas otro 10%**.

- Las rocas con valores de MgO entre 10 y 14% reúnen **características próximas a las de magmas primarios** ($Ni > 300$ ppm, $Cr > 500$ ppm, $MG > 63$).

- Las Series formadas por **mayor grado de fusión parcial** son: Serie I Superior del Edificio Norte y las Series I Inferior, Intermedia y Superior del Edificio Central.

- Las Series formadas por **tasas de fusión media** son la Serie I Inferior del Edificio Norte, Formación Melindraga y las Series I Inferior, Intermedia y Superior del Edificio Sur.

- Las Series formadas por **tasas de fusión menores** son: Formación Tamacite en el Edificio Central y la Formación La Angostura en el Edificio Sur.

- Para un modelo de manto pirolítico y a partir del P_2O_5 , considerándolo como totalmente incompatible, las series de **mayor fusión** se originarían por un **14 - 15%** de fusión parcial, las de **fusión media** por **9 - 12%** y las de **menor fusión** por **6 - 7%**.

- Las Series **más voluminosas** corresponden con las **mayores tasas de fusión parcial**.

- En general hay una tendencia a la **disminución en el grado de fusión parcial con el tiempo**.

- Todos los magmas basálticos de la Serie I se habrían generado a partir de un **manto metasomatizado, enriquecido en incompatibles y con granate como fase residual**.

- El **manto** fuente era composicionalmente **heterogéneo de un edificio a otro**.

- Dentro de cada edificio parece similar el manto que origina por un lado el Edificio Central Intermedio y Superior y, por otro, el Edificio Sur Intermedio y Superior.

- La Formación La Angostura y la Formación Tamacite proceden de mantos composicionalmente distintos entre sí y distintos de los de las series precedentes de sus respectivos edificios.

- Las **características** composicionales de los **magmas** y del **manto fuente** **confirman el modelo geológico de Edificios para la Serie I de Fuerteventura.**

AGRADECIMIENTOS.

Al profesor Dr.D. José María Fúster por el apoyo prestado para la publicación de esta memoria. La financiación se debe a los proyectos DGICYT números PB87-0382 y PB91- 0147 CO2-01.

BIBLIOGRAFÍA

- ABDEL MONEN, A.; WATKINS, N.D. y GAST, P.W. (1971). Potassium-argon ages, volcanic stratigraphy, and geomagnetic polarity history of the Canary Islands: Lanzarote, Fuerteventura, Gran Canaria and La Gomera. *Am. J. Sci.*, 271, 490-521.
- ALONSO, U.; CENDRERO, A. FÚSTER, J.M.; GASTESI, P.; HERNÁNDEZ PACHECO, A.; MUÑOZ, M. y SÁNCHEZ CELA, V. (1968 a). Mapa geológico de España 1:50.000. La Oliva. *Inst. Geol. Min. España.*
- ALONSO, U.; FERNÁNDEZ SANTÍN, S.; FÚSTER, J.M. y SÁNCHEZ CELA, V. (1968 b). Mapa geológico de España 1:50.000. Jandía. *Inst. Geol. Min. España.*
- ALLEGRE, C. J. y MINSTER, J.F. (1978). Quantitative models of trace elements behavior in magmatic processes. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 38, 1-25.
- ALLEGRE, C.J.; TREUIL, M.; MINSTER, F.J.; MINSTER, J.B. y ALBAREDE, F. (1977). Systematic use of trace elements in igneous processes: Part I Fractional crystallization processes in volcanic suites. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 60, 57-75.
- ANCOCHEA, E. (1982). Evolución espacial y temporal del volcanismo reciente de España Central. *Tesis Doctoral. Univ. Complutense de Madrid*, 675 pp.
- ANCOCHEA, E.; FÚSTER, J.M.; IBARROLA, E.; CENDRERO, A.; COELLO, J.; HERNÁN, F.; CANTAGREL, J.M. y JAMOND, C. (1990). volcanic evolution of the island of Tenerife (Canary Islands) in the light of new K-Ar data. *Jour. Volc. Geotherm. Res.*, 44, 231-249.
- ANCOCHEA, E.; CUBAS, C.R.; HERNÁN, F. y BRANDLE, J.L. (1991). Edificios volcánicos en la Serie I de Fuerteventura: rasgos generales del edificio central. *Geogaceta*, 9, 60-62.
- ANCOCHEA, E.; HERNÁN, F.; CENDRERO, A.; CANTAGREL, J.M.; FÚSTER, J.M.; IBARROLA, E. y COELLO, J. (en prensa). Instructive and destructive episodes in the building of a young oceanic island, La Palma, Canary Islands, and génesis of the Caldera de Taburiente. *Jour. Volc. Geotherm. Res.*
- ANGUITA, F. y HERNÁN, F. (1975). A propagating fracture model versus a hot spot origin for the Canary Islands. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 27, 11-19.
- ARTHUR, M.A. y VON RAD, V. (1979). Early neogene base of slope sediment at site 397, DSDP LEG 47 A: sequential evolution of gravitative mass transport processes and redeposition along the Northwest African passive margin. *En Init. Rep. of the Deep. Sea Drilling Project*. 47, 603-640.

- AUMENTO, F. (1968). The Mid-Atlantic Ridge near 45°N. II. Basalts from the area of Confederation Peak. *Canadian Jour. Earth Sci.*, 5, 1-21.
- BALCELLS, R.; BARRERA, J.L.; GÓMEZ, J.A.; CUETO, L.A.; ANCOCHEA, E.; HUERTAS, M.J.; IBARROLA, E. y SNELLING, N. (En prensa). Edades radiométricas en la Serie Miocena de Fuerteventura. (Islas Canarias). *Bol. Ged. Miner.*
- BARBERI, F.; FERRARA, G.; SANTACROCE, R.; TREUIL, M. y VARET. (1975). A Transitional Basalt-Pantellerite Sequence of Fractional Crystallization, the Boina Centre (Afar Rift, Ethiopia). *Jour. Petrol.*, 16, 22-56.
- BASS, M.N. (1972). Occurrence of transitional abyssal basalt. *Lithos*, 5, 57-67.
- BASU, A.R. (1977). Textures, microstructures and deformation of ultramafic xenoliths from San Quintín, Baja California. *Tectonophysics*, 43, 213-246.
- BENÍTEZ, P.S. (1946). Ensayo de síntesis geológica del Archipiélago Canario. *Estud. Geol.* 3, 3-19.
- BOURCART, J. y JEREMINE, E. (1938). Fuerteventura. *Bull. Volcan.*, II-4, 51-109.
- BRANDLE, J.L.; ANCOCHEA, E.; CUBAS, C.R. y HERNÁN, F. (1991). Análisis de enjambres de diques radiales utilizando un método matemático. *Geogaceta*, 10, 97-100.
- BRAVO, T. (1964). Geología General de las Islas Canarias. T. II. *Goya Ediciones. Santa Cruz de Tenerife*, 592 pp.
- BREY, G. (1978). Origin of olivine melitites chemical and experimental constraints. *Jour. Volc. Geotherm. Res.*, 3, 89-98.
- CENDRERO, A.; FÚSTER, J.M. y SAGREDO, J. (1967). Mapa geológico de España 1:50.000. Cotillo. *Inst. Geol. Min. España*, 379, 9pp.
- CENDRERO, A. y FÚSTER, J.M. (1968 a). Mapa Geológico de España 1:50.000. Lobos. *Inst. Geol. Min. España*.
- CENDRERO, A. y FÚSTER, J.M. (1968 b). Mapa Geológico de España 1:50.000. Istmo de la Pared. *Inst. Geol. Min. España*.
- COELLO, J. (1971). Contribución a la tectónica de la isla de El Hierro (Canarias). *Estud. Geol.*, 27, 335-340.
- COELLO, J. (1973). Las series volcánicas en subsuelos de Tenerife. *Estud. Geol.*, 29, 491-512.
- COELLO, J.; CANTAGREL, J.M.; IBARROLA, E.; JAMOND, C.; HERNÁN, F.; FÚSTER, J.M.; ANCOCHEA, E.; CASQUET, C.; DÍAZ DE TERÁN, J.R. y CENDRERO, A. (1992). Evolution of the Eastern Volcanic Ridge of the Canary Islands Based on New K-Ar Data. *Jour. Volc. Geoth. Res.*, 53, 251-274.
- COOMBS, D.S. (1963). Trends and affinities of basaltic magmas and pyroxenes as illustrated on the diopside-olivine-silica diagram. *Mineralog. Soc. Amer. Spec. Paper*, 1, 227-250.
- CUBAS, C.R.; FERNÁNDEZ SANTÍN, S.; HERNÁN-PACHECO, A. y DE LA NUEZ, J. (1989). Los domos sálicos de Fuerteventura. *Rev. Mat. y Proc.*, 6, 71-97.
- CUBAS, C.R.; HERNÁN, F.; ANCOCHEA, E. y BRÄNDLE, J.L. (1992). El Edificio Sur (Jandía) de la Serie I de Fuerteventura: rasgos generales. *Geogaceta*, 11, 79-81.
- CHAYES, F. (1965). Statistical Petrography. *Carneg. Inst. Wash. Year Book* 64, 153-165.
- CHAYES, F. (1966). Alkaline and subalkaline basalts. *Amer. J. Sci.*, 264, 128-145.
- CHEN, C.Y. y FREY, F.A. (1985). Trace element and isotope geochemistry of lavas from Haleakala volcano, East Maui: Implications for the origin of Hawaiian basalts. *Jour. Geophys. Res.*, 90, 8743-8768.
- DAÑOBEITIA, J.J. (1988). Reconocimiento geofísico de estructuras submarinas situadas al norte y sur del archipiélago Canario. *Rev. Soc. Geol. España*, 1, 143-155.
- DAÑOBEITIA, J.J. y COLLETTE, B.J. (1989). Estudio mediante sísmica de reflexión de un grupo de estructuras submarinas situadas al Norte y Sur del archipiélago Canario. *Acta Geol. Hisp.*, 24, 147-163.

- ESNAOLA, J.M. (1984). Mapa geológico de España 1:25.000. Antigua. *Inst. Geol. Min. España.*, 23 pp.
- FERAUD, G. (1981). Datation de réseaux de dykes et de roches volcaniques sousmarines par les méthodes K-Ar et ⁴⁰Ar-³⁹Ar. Utilisation des dykes comme marqueurs de paléocontraites. *Thesis, Univ. de Nice.* 146 pp.
- FERAUD, G.; GIANNERINI, G.; CAMPREDON, R. y STILLMAN, C.J. (1985). Geochronology of some canarian dike swarms: contribution to the volcano-tectonic evolution of the archipelago. *J. Volc. Geotherm. Res.*, 25, 29-52.
- FERNÁNDEZ NAVARRO, L. (1926). Iles Canarias. *Excursión A-7, XIV Congr. Geol. Internacional. Madrid*, 122 pp.
- FERNÁNDEZ SANTÍN, S. (1969). Pegmatitoides en la serie basáltica fisural de las islas de Lanzarote y Fuerteventura. *Estud. Geol.*, 25, 53-100.
- FLOYD, P.A. y WINCHESTER, J.A. (1975). Magma type and tectonic setting discrimination using immobile elements. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 27, 211-218.
- FREY, F.A.; GREEN, D.H. y ROY, S.D. (1978). Integrated models of basalt petrogenesis: A study of quartz tholeiites to olivine melilitites from South Eastern Australia utilizing geochemical and experimental petrological data. *Jour. Petrol.*, 19, 463-513.
- FÚSTER, J.M. (1975). Las Islas Canarias, un ejemplo de evolución espacial y temporal del volcanismo oceánico. *Estudios Geol.*, 31, 439-463.
- FÚSTER, J.M. (1981). Evolución Geológica del Archipiélago Canario. *R. Acad. C. Exactas, Físicas y Naturales*, 61 pp.
- FÚSTER, J.M. y AGUILAR, M. (1965). Nota previa sobre la geología del macizo de Betancuria. Fuerteventura (Islas Canarias). *Estud. Geol.* 21, 181-197.
- FÚSTER, J.M. y SÁNCHEZ CELA, V. (1967). Mapa Geológico de España 1:50.000. Puerto de Lajas. *Inst. Geol. Min. España*, 382, 7 pp.
- FÚSTER, J.M., CENDRERO, A.; GASTESI, P.; IBARROLA, E. y LÓPEZ RUIZ, J. (1968). Geology and volcanology of Canary Islands, Fuerteventura. *Inst. Lucas Mallada, C.S.I.C. Madrid*, 243 pp.
- FÚSTER, J.M.; HERNÁNDEZ PACHECO, A. y PÁEZ, A. (1968 b). Mapa geológico de España 1:50.000. Tuineje. *Inst. Geol. Min. España.*
- FÚSTER, J.M.; FERNÁNDEZ SANTÍN, S. y SAGREDO, J. (1968 c). Geología y Volcanología de las Islas Canarias. Lanzarote. *Inst. Lucas Mallada, C.S.I.C. Madrid.*
- FÚSTER, J.M.; YÉBENES, A.; BARRERA, J.L.; MUÑOZ, M. y SAGREDO, J. (1984a). Mapa geológico de España 1:25.000. Betancuria. *Inst. Geol. Min. España.*, 34 pp.
- FÚSTER, J.M.; BARRERA, J.L.; MUÑOZ, M.; SAGREDO, J. y YÉBENES, A. (1984b). Mapa geológico de España 1:25.000. Pájara. *Inst. Geol. Min. España.*, 63 pp.
- FÚSTER, J.M.; ANCOCHEA, E.; IBARROLA, E.; COELLO, J.; CANTAGREL, J.M.; ANCOCHEA, E. e IBARROLA, E. (1993) Geocronología de la Isla de El Hierro (Islas Canarias). *Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat. Sec. Geol.* 88, 85-97.
- GASTESI, P. (1969). El complejo plutónico básico y ultravásico de Betancuria, Fuerteventura (Islas Canarias). Estudio petrológico. *Estud. Geol.*, 25, 1-51.
- GREEN, D.H. (1969). The origin of basaltic and nephelinitic magmas in the earth's mantle. *Tectonophysics*, 7, 409-422.
- GREEN, D.H.. (1971). Composition of basaltic magmas as indicators of conditions of origin: application to oceanic volcanism. *Phil. Trans. Roy. Soc. London*, 268, 707-725.

- GRUNAU, H.; LEHNER, R.; CLEINTUAR, P.; ALLENBACH, M.R. y BAKER, G. (1975)- New radiometric ages and seismic data from Fuerteventura (Canary Islands), Maio (Cape Verde Islands) and Sao Tomé (Gulf of Guinea). *Progress in geodynamic. Roy. Soc. Neth. Acda. Arst and Sci.*, 90-108.
- HARTUNG, G. (1857). Die geologischen Verhältnisse der Inseln Lanzarote und Fuerteventura. *Neue Denkschriften der Allgemeinen Schweizerischen Gesellschaft für die gesammten Naturwissenschaften*, 15 Zurich.
- HAUSEN, H. (1956). Fuerteventura. Some geologic and geomorphologic aspects of the Oldland of the Canarian Archipiélago. *Actas Geographica*, XV, Nº 2. Societas Geographica Fenniae. Helsingfors.
- HAUSEN, H. (1958). On the Geology of Tuerteventura (Canary Islands). *Soc. Scient. Fennica. Com. Phys. Math.*, 22-1, 211 pp.
- HERNÁN, F.; ANCOCHEA, E.; BRÄNDLE, J.L. y CUBAS, C.R. (1993). Características generales en el Edificio Norte de la Serie I de Fuerteventura. *Geogaceta*. 13, 62-64.
- HERNÁNDEZ PACHECO, A. (1979). Lineaciones estructurales y vulcanismo en el Archipiélago Canario. *III Asamblea Nac. Geod. Geofis.*, III, 1565-1569.
- HERNÁNDEZ PACHECO, A. (1981). Pautas geoquímicas y distribución espacial del vulcanismo sálico en el Archipiélago Canario. *IV Asamblea Nac. Geod. Geofis.*, 1757-1777.
- HERNÁNDEZ PACHECO, A. e IBARROLA, E. (1973). Geochemical variation trends between the different Canary Islands in relation to their geological position. *Lithos*, 6, 389-402.
- HOERNLE, K.A. y TILTON, G.R. (1991). Sr-Nd-Pb isotope data for Fuerteventura (Canary Islands) basal complex and subaerial volcanics: applications to magma genesis and evolution. *Srhweiz. Mineral. Petrogr. Mitt.* 71, 3-18.
- IBARROLA, E. (1970). Variabilidad de los magmas basálticos en las Canarias Orientales y Centrales. *Estud. Geol.*, 26, 337-399.
- IBARROLA, E.; FÚSTER, J.M. y CANTAGREL, J.M. (1989). Edades K-Ar de las rocas volcánicas submarinas en el sector norte del Complejo Basal de Fuerteventura. *E.S.F. Meeting en Canarian Volcanism* 124-128.
- IRVINE, T.N. y BARAGAR, W.R.A. (1971). A Guide to the Chemical Classification of the Common Volcanic Rocks. *Canad. J. Earth Sci.*, 8, 523-548.
- JACKSON, E.D.; SILVER, E.A. y DALRYMPLE, G.B. (1972). Hawaiian-Emperor Chain and its relation to Cenozoic circum-pacific tectonics. *Geolog. Soc. America Bull.*, 83, 601-618.
- JAVOY, M.; STILLMAN, C.J. y PINEAU, F. (1986). Oxygen and hydrogen isotope studies on the basal complexes of the Canary Islands: implications on the conditions of their genesis. *Contrib. Mineral Petrol.*, 92, 255-235.
- KUNO, H. (1960). Hygh-alumina basalt. *Jour Petrol.*, 1, 121-45.
- LE BAS, M.J.; REX, D.C. y STILLMAN, C.J. (1986). The early magmatic chronology of Fuerteventura, Canary Islands. *Geol. Mag.*, 123, 287-298.
- LE MAITRE, R.W. (1976). some Problems of the Projection of Chemical Data into Mineralogical Classifications. *Contrib. Mineral Petrol.*, 56, 181-189.
- LE MAITRE, R.W. (1989). A classification of igneous rocks and glossary of terms. Ed. R.W. Le Maitre. *Blackweel Scientific Publications*, 193 pp.
- LÓPEZ RUIZ, J. (1970). Estudio petrográfico y geoquímico del complejo filoniano de Fuerteventura (Islas Canarias). *Estud. Geol.*, 26, 173-208.
- LUYENDYK, B. y BUNCE, E.T. (1973). Geophysical study of the northwest African Margin off Morocco. *Deep Sea Res.*, 20, 537-549.
- MACDONALD, G.A. (1968). Composition and origin of Hawaiian lavas. *Geol. Soc. Am. Mem.*, 116, 477-522.
- MACDOUGALL, I. y SCHMINCKE, H.U. (1976). Geochronology of Gran Canaria: age of shield building volcanism and other magmatic phases. *Bull. Volcanol.*, 40, 1-21.

- MARTÍN, M. (1984). Hoja Geológica 1:25.000. Puerto del Rosario. *Inst. Geol. Min. España.*, 18 pp.
- MINSTER, J.F. y ALLEGRE, C.J. (1978). Systematic use of trace elements in igneous processes. Part III. Inverse problem of Batch Partial Melting in volcanic suites. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 68, 37-52.
- MOHR, P.A. y WOOD, C.A. (1976). Volcano spacings and lithospheric attenuation in the Eastern Rift of Africa. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 33, 126-144.
- MOORE, J.G. (1964). Giant submarine landslides on the Hawaiian ridge. *U.S. Geol. Survey Prof. Paper.* 501-D, D95-D98.
- MUIR, I. D.; TILLEY, C.E. y SCOON, J.H. (1964). Basalts from the northern part of the rift zone of the Mid-Atlantic Ridge. *Jour. Petrol.*, 5, 409-434.
- MUÑOZ, M. (1969). Estudio petrológico de las formaciones alcalinas de Fuerteventura. (Islas Canarias). *Est. Geol.*, 25, 257-310.
- NAVARRO, J.M. y COELLO, J. (1989). Depressions originated by landslide processes in Tenerife. *ESF Meeting on Canarian Volcanism*, 150-152.
- NIELSEN, R.L. (1985). EQUILFOR: A program for the modeling of low-pressure differentiation processes in natural mafic magma bodies. *Computers Geosci.*, 11, 531-546.
- NIELSEN, R.L. (1988a). TRACEFOR: A program for the calculation of combined major and trace element liquid lines of descent for natural magmatic systems. *Computers Geosci.*, 14, 15-35
- NIELSEN, R.L. (1988b). A model for the simulation of combined major and trace element liquid lines of descent. *Geochim. Cosmochim. Acta.* 52, 27-38.
- PETERSON, D.W. y MOORE, R.B. (1987). Geologic history and evolution of geologic concepts, island of Hawaii. *En: Volcanism in Hawaii. U.S. Geol. Sur. Prof. Paper.* 1350, 149-189.
- RONA, P.A. y NALWALK, A.J. (1970). Post-early Pliocene unconformity on Fuerteventura, Canary Islands. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 81, 2117-2122.
- ROTHER, P. (1966). Zum Alter des Vulkanismus auf dem östlichen Kanaren. *Soc. Sci. Fennica Comm. Phys. Math.*, 31, 1-80.
- SCHMINCKE, H.U. (1981). Volcanic and chemical evolution of the Canary Islands. In V. Rad et al. (Editors). *Evolution of the passive margin of Nw Africa. Springer Verlag, Heidelberg*, 273-306.
- SCHMINCKE, H.U. y VON RAD, U. (1979). Neogene evolution of Canary Islands volcanics inferred from ash layers and volcanoclastic sandstones of DSDP site 397 (Leg 47 A). In Von Rad, U. y Ryan, W.F.B. (Eds). *Init. Rep. Deep Sea Drilling Project 47*, 703-725.
- STEARNS, H.T. (1940). Four-phase volcanism in Hawaii. (Abstracts). *Geol. Soc. America Bull.*, 51, 1947-1948.
- STEIGER, R.H. y JAEGER, E. (1977). Subcommission of geochronology: of the use of decay constants in geo and cosmochronology. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 36, 359-362.
- STORMER, J.C. y NICHOLLS, J. (1978). XL FRAC: A program for the interactive testing of magmatic differentiation models. *Computer Geosciences*, 4, 143-159.
- SUN, S.S. y HANSON, C.N. (1975). Origin of Ross Islands basanitoids and limitations upon the heterogeneity of mantle source for alkali basalts and nephelinites. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 52, 77-106.
- SUN, S.S. y NESBITT, R.W... (1978). Petrogenesis of Archean ultrabasic and basic volcanics and mantle evolution: evidence from rare earth elements. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 65, 301-325.
- TREUIL, M. y JORON, J.L. (1975). Utilisation des éléments hygromagmatophiles pour la simplification de la modélisation quantitative des processus magmatiques. Exemples de l'Afar et de la dorsale méditerranéenne. *Soc. Ital. Mineral. Petrol.*, 31, 125-174.
- UCHUPI, E.; EMERY, K.O.; BOWIN, C.O. y PHILLIPS, J.D. (1976). Continental margin of Western Africa: Senegal to Portugal. *Am. Ass. Petrol. Geol. Bull.*, 60, 809-878.

- UPTON, B.G.J. y WADSWORTH, W.J. (1966). The Basalts of Reunion Island, Indian Ocean. *Bull. Bolcanol.*, 29, 7-23, 342-532.
- VERHOOGEN, J. (1962). Oxidation of iron-titanium oxides in igneous rocks. *Jour. Geol.*, 79, 168-181.
- VOGT, P.R. (1974). Volcano Spacing, Fractures, and Thickness of the Lithosphere. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 21, 235-252.
- WEIGEL, W.; GOLDFLAM, P. y HINZ, K. (1978). The Crustal structure of the Conception Bank. *Mar. Geophys. Res.*, 3, 381-392.
- WHITE, W.M. y SCHILLING, J.G. (1978). The nature and origin of geochemical variation of mid-Atlantic Ridge basalts from central North Atlantic. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 42, 1501-1516.
- WINCHESTER, J.A. y FLOYD, P.A. (1976). Geochemical magma type discriminations: application to altered and metamorphosed basic igneous rocks. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 28, 459-468.
- WRIGHT, T.L.; SHAW, H.R.; TILLING, R.I. y FISKE, R.S. (1979). Origin of Hawaiian tholeiitic basalt: a quantitative Model. (Abstracts). *Hawaii Symposium on Intraplate Volcanism and Submarine Volcanism*, p. 104.
- YODER, H. y TILLEY, C. (1962). Origin of basalt-magmas: an experimental study of natural and synthetic rock systems. *Jour. Petrol.*, 3, 342-532.