

EL MEDIO AMBIENTE Y REGIONALIZACION GEOMORFOLOGICA DE LA PENINSULA DE ARABIA

D. Antón (*)

RESUMEN

Se considera el concepto de aridez y se aplican varios índices climáticos (De Martonne, Thornwaite, Meigs) para clasificar la Península Arábiga como árida y extremadamente árida en algunas zonas. Los vientos dominantes van a condicionar la formación, tipo y orientación de los extensos campos dunares. El clima aridificante y la alta salinidad de los mantos acuíferos dan como resultado una vegetación rala, adaptada a los diferentes ambientes de dicha Península (arenosos, pedregosos, salinos, etc.), que ha sido muy castigada por el pastoreo nómada.

Se clasifica la Península Arábiga en seis grandes unidades geomorfológicas atendiendo a su constitución litológica, morfológica, situación geográfica y estructura. Dentro de cada unidad geomorfológica se han realizado varias subdivisiones, de acuerdo con elementos morfológicos de orden inferior, explicando detalladamente cada una de estas subunidades e introduciendo el concepto genético de las mismas.

Por último, se plantea el problema del impacto del hombre sobre el medio ambiente, y se hace constar la fragilidad de este tipo de ecosistemas naturales muy vulnerables a toda clase de transformación, en zonas como ésta, en donde el desarrollo industrial se está implantando aceleradamente.

PALABRAS CLAVE: Geomorfología, Climatología, Influencia antrópica, Península Arábiga.

UN PAIS ARIDO

El concepto de aridez es una idea relativa que engloba no sólo la cantidad de lluvias o precipitaciones caídas en una región, sino también un cierto número de otros parámetros climatológicos y condiciones geográficas particulares. Temperatura y humedad del aire, insolación, vientos, cobertura vegetal, suelos, aguas subterráneas, son algunos de los factores que condicionan la aridez real de una comarca.

Sin embargo, por comodidad y facilidad de medida sólo unos pocos parámetros han sido tenidos en cuenta por los diversos autores para definir los climas secos.

Köppen (1900) y Köppen y Geiger (1936) definieron los climas áridos (Bs y Bw) como aquellos en que las precipitaciones anuales en milímetros son iguales o menores al décuplo de la temperatura media anual calculada en grados centígrados, a saber:

$$P \leq 10 T$$

De Martonne (1926) propuso un índice de aridez calculado en forma similar, que da valores más bajos cuanto mayor es la aridez:

$$I = \frac{\text{lluvia anual en mm.}}{\text{temperatura media anual en } ^\circ\text{C más 10 grados}}$$

Thornwaite (1949) agregó otras variables (evapotranspiración potencial, duración del día) para definir la aridez climática, y Meigs (1953) propuso un mapa de regiones secas, incluyendo cuatro categorías de aridez: regiones semi-áridas, regiones áridas, desiertos arenosos y regiones extremadamente áridas.

De acuerdo a todos los criterios citados anteriormente, la península arábiga se encuentra práctica e íntegramente dentro del límite de las regiones áridas. En la clasificación de Köppen (1900), se ubica casi completamente en el tipo Bw (desierto), con pequeñas áreas en el Asir y Yemen en Bs (estepa). De acuerdo a Thornwaite (1948), el clima de Arabia se clasifica dentro de la provincia árida. El índice de

(*) Director de Proyecto del Programa de Investigación de Arenas de la Universidad de Petróleo y Minerales de Dhahran, en Arabia Saudita, desde 1980.

**EMPLAZAMIENTO HACIA EL ENE DEL MANTO DE LOS REALES
(ALPUJARRIDES OCCIDENTALES):
CRITERIOS ESTRUCTURALES Y DE PETROFABRICA**

J. M. Tubía (*)

RESUMEN

El manto de Los Reales descansa sobre el manto de Ojén, al norte de Sierra Alpujata. La zona de contacto entre mantos exhibe una intensa deformación plástica con rocas miloníticas; la deformación disminuye progresivamente al alejarse del contacto. El estudio estructural de las rocas infra y suprayacentes al contacto permite atribuir esta deformación al emplazamiento del manto de Los Reales sobre el de Ojén.

Las distribuciones de la foliación y de la lineación de estiramiento indican una dirección de cizallamiento WSW-ENE. Las características microestructurales de las milonitas y las orientaciones preferentes cristalinas de la enstatita en las peridotitas basales proporcionan un sentido de cizallamiento tal que el manto de Los Reales se ha desplazado, en su posición actual, desde el WSW hacia el ENE.

PALABRAS CLAVE: Manto de Los Reales, Manto de Ojén, milonita, peridotita, sentido de cizallamiento.

ABSTRACT

Los Reales nappe rests over Ojen nappe to the North of Sierra Alpujata. The nappe contact zone shows a intense plastic deformation with mylonitic rocks. The deformation decreases progressively going away from the contact. The structural study of footwall and hangingwall rocks permits to attribute this deformation to the Los Reales nappe emplacement over that of Ojen.

The foliation and stretching lineation distributions show a WSW-ENE shear direction. The mylonite microstructural characteristics and the enstatite crystalline preferred orientations in the basal peridotites give a shear sense in according that, Los Reales nappe is displaced, in their present position, from the WSW towards the ENE.

KEY WORDS: Los Reales Nappe, Ojén Nappe, Mylonite, Peridotite, Shear sense.

Introducción

El conocimiento de la dirección y sentido de movimiento de los mantos de corrimiento es de gran importancia, desde un punto de vista tectónico, para la elaboración de una interpretación geodinámica de un orógeno. La dirección de transporte de los mantos de la Zona Bética es un tema todavía en discusión, aunque el carácter alóctono de los diversos complejos en los que clásicamente se han dividido las Zonas Internas de las Cordilleras Béticas se conozca desde principios de siglo (para una revisión, ver Egeler y Simon, 1969).

Se admite actualmente que, en el tercio central de la cordillera, el desplazamiento se ha realizado desde el sur hacia el norte (Aldaya, 1969), aunque ha habido partidarios de desplazamientos hacia el sur (Durand-Delga, 1968). La forma arqueada de la cadena en Gibraltar ha determinado que se hayan señalado direcciones de movimiento hacia el noroeste en el extremo occidental (Durr, 1967; West-erhof, 1977). Hay que señalar que otros autores, como Kampschuur (1972), dan un desplazamiento hacia el suroeste.

La diversidad de criterios estructurales puede obedecer a varias causas, como son: 1) la existencia de

(*) Departamento de Geomorfología y Geotectónica. Facultad de Ciencias. Universidad del País Vasco. Apartado 644. Bilbao.

una tectónica reciente muy activa, y 2) la actuación de una importante deformación tangencial posterior al empilamiento inicial de mantos (Paquet, 1974). Ambos hechos impiden generalmente la observación de los contactos iniciales entre mantos, lo que dificulta la determinación de las direcciones y sentidos de movimiento.

El interés de este artículo reside en que presenta criterios estructurales, microestructurales y de petrofábrica, en las rocas de la zona de contacto entre dos mantos alpujárrides, que indican una dirección de desplazamiento para los Mantos Alpujárrides occidentales hacia el ENE.

Las principales características estructurales originadas por el emplazamiento del manto de Los Reales sobre el de Ojén son la abundancia de rocas de la serie de las milonitas, en el sentido de Sibson (1977), a uno y otro lado del contacto, y la disminución de la intensidad de la milonización al alejarse del contacto. Las estructuras y la fábrica de las rocas que aparecen en la zona de contacto entre mantos se estudian detalladamente en Tubía y Cuevas (en preparación).

Las milonitas tienen una acusada fábrica plano-linear, mostrando una foliación y una lineación de estiramiento muy marcadas. La orientación de la fo-

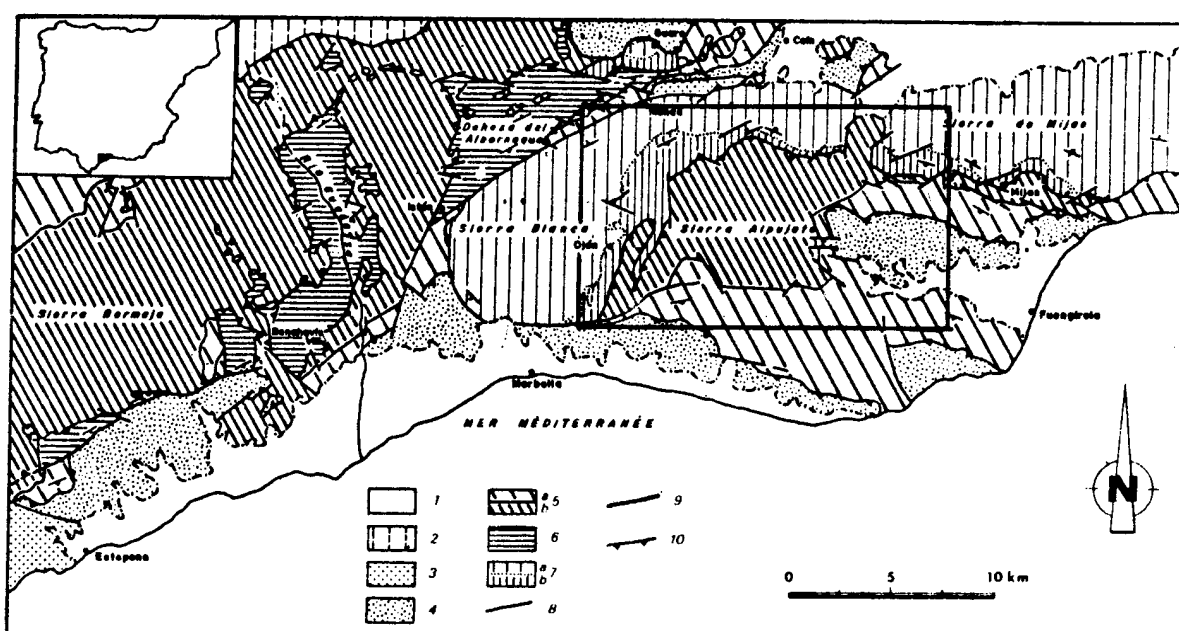


Fig. 1.—Mapa geológico esquemático, según Navarro-Vilá y Tubía (1983). 1, Depósitos post-manto; 2, Unidad de Las Nieves; 3, Flyschs alóctonos; 4, Complejo Maláguide; 5, Manto de Los Reales (5a, serie metamórfica; 5b, peridotitas); 6, Manto de Guadaíza; 7, Manto de Ojén (7a, mármoles; 7b, serie metapelítica); 8, Contacto tectónico en general; 9, Falla; 10, Cabalgamiento.

Situación geológica y estructuras de la zona de contacto

El sector estudiado forma parte del Complejo Alpujárride. Está situado al oeste de Málaga, donde se han diferenciado recientemente tres mantos alpujárrides, que son, en orden ascendente: el manto de Ojén, el de Guadaíza y el de Los Reales (Navarro-Vilá y Tubía, 1983). En este trabajo se estudian las estructuras existentes en la zona de contacto entre los mantos de Ojén y Los Reales, al norte de Sierra Alpujata (fig. 1); en dicha zona el manto de Ojén está representado por migmatitas y milonitas cuarzo-feldespáticas y el de Los Reales por las peridotitas del macizo de Sierra Alpujata.

liación y de la lineación es idéntica en las milonitas cuarzo-feldespáticas y peridotíticas: en ambos casos es subparalela al contacto entre mantos (fig. 2).

Las medidas de la foliación y lineación exhiben variaciones importantes a lo largo del contacto (figura 2). Estos cambios en la orientación de las estructuras penetrativas se deben a las deformaciones posteriores al apilamiento de mantos, principalmente a la actuación de pliegues de gran radio, de direcciones axiales N 160-170° E y N 90° E.

Anulados los efectos de las deformaciones tardías, el macizo peridotítico de Sierra Alpujata mostraría una forma elíptica, alargada de manera semejante al de Sierra Bermeja; la foliación se inclinaría al sur,

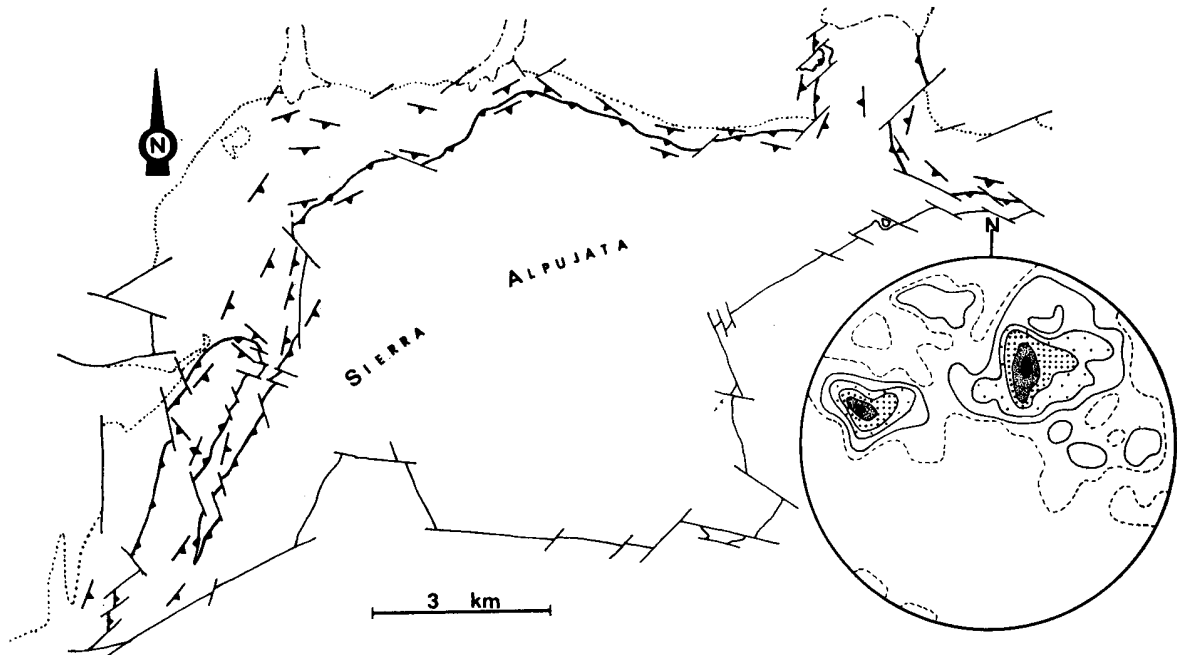


Fig. 2 A.—Mapa estructural y diagrama de orientación (105 medidas) de la foliación milonítica en la zona de contacto entre los dos mantos (proyección equiareal, hemisferio inferior; contornos: 0.5/1.5/3.5/5.5 > 7.5 %).

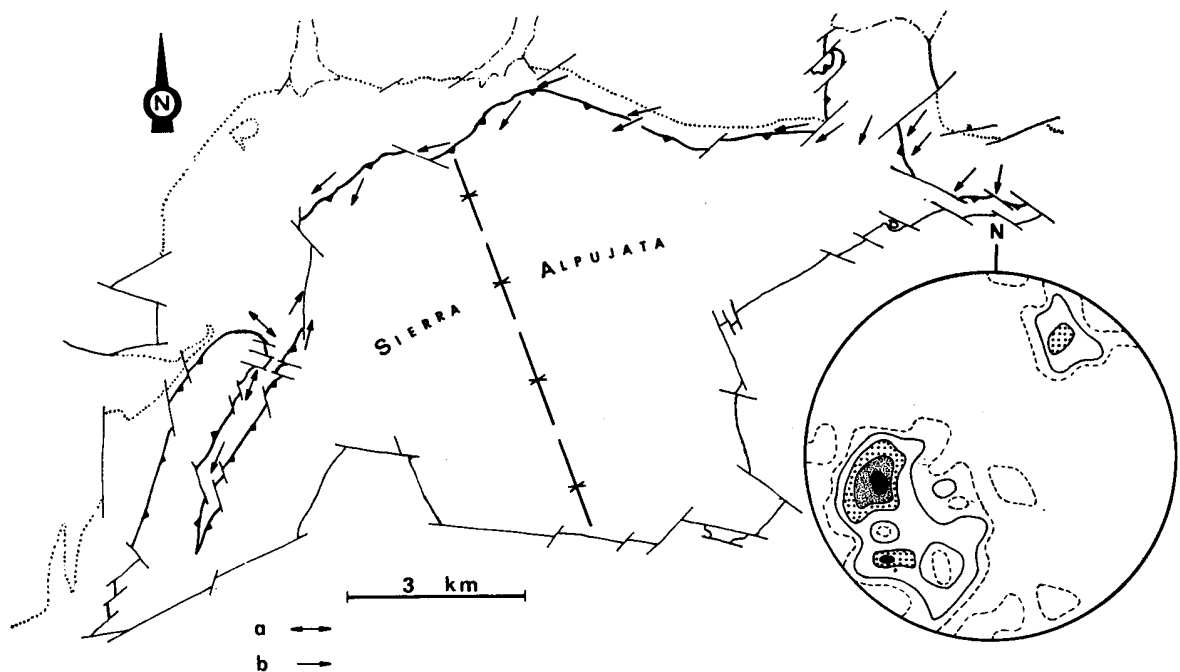


Fig. 2 B.—Distribución de las lineaciones miloníticas (a: subhorizontales; b: inclinadas, con sentido de buzamiento) y diagrama de orientación (60 medidas) de las lineaciones (proyección equiareal; hemisferio inferior; contornos: 0.8/2.5/6/9 > 12 %).

y la lineación tendría una dirección WSW-ENE, coincidente, aproximadamente, con el alargamiento del macizo.

Mecanismo de deformación

Trabajos como los de Nicolás *et al.* (1971, 1972) sobre peridotitas alpinas, de Bouchez y Pêcher (1981) en cuarcitas, Berthé *et al.* (1979) en milonitas cuarzo-feldespáticas, y Etchecopar (1977) sobre modelos teóricos de deformación, señalan la utilidad del análisis estructural y de las orientaciones preferentes cristalinas para precisar el mecanismo de deformación de las tectonitas; si la deformación se ha producido por cizalla simple, permiten determinar, además, la dirección y el sentido de cizallamiento (Nicolás y Poirier, 1976).

La deformación asociada al emplazamiento del manto de Los Reales se ha producido por un mecanismo próximo a la cizalla simple, de acuerdo con las siguientes observaciones:

- En las milonitas del manto de Ojén el feldespato aparece, generalmente, como porfiroclastos con sombras de presión asimétricas. La uniformidad del sentido de asimetría de las sombras de presión, en muestras distribuidas regularmente a lo largo del contacto, apoya el carácter rotacional de la deformación (fig. 3), según los resultados obtenidos por Berthé *et al.* (1979).

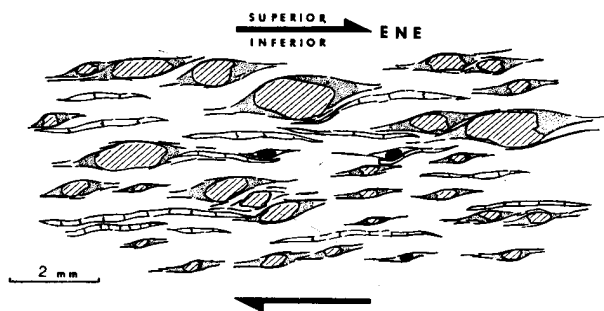


Fig. 3.—Milonita cuarzo-feldespática (selección XZ). Las cintas de cuarzo (ribbon-quartz) señalan la traza de la foliación. La asimetría de las sombras de presión de los porfiroclastos indica un sentido de cizallamiento tal que la parte superior de la figura se desplaza hacia el ENE respecto de la inferior.

- Las secciones XZ (perpendiculares a la foliación y paralelas a la lineación de estiramiento) de milonitas peridotíticas contienen numerosos porfiroclastos alargados de enstatita (3-4 mm.; X/Z : 5/1), con la traza del cleavage (100) oblicua respecto a la de la foliación. El alargamiento de los cristales de ortopiroxeno se debe,

de acuerdo con Nicolás *et al.* (1971), a que han sufrido una deformación plástica por deslizamiento intracrystalino sobre planos de deslizamiento que coinciden con los del cleavage (100) (fig. 4). La constancia del sentido de inclinación del cleavage en relación a la foliación (fig. 5) también está de acuerdo con una deformación por cizallamiento simple.

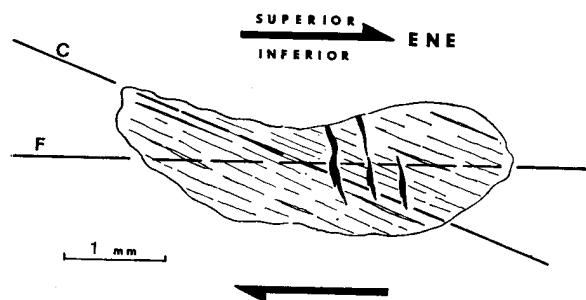


Fig. 4.—Porfiroclasto de enstatita de una milonita peridotítica (sección XZ). El alargamiento del cristal marca la posición de la foliación (F). La línea C corresponde a la traza del plano de deslizamiento intracrystalino, que coincide con la del cleavage (100). El sentido de cizallamiento acorde con la inclinación de F respecto de C es igual al de la figura 3.

La existencia (~ 20 %) de feldespato potásico con sombras de presión con asimetría contraria y de porfiroclastos de enstatita con relaciones cleavage-foliación inversas, indica una componente de cizalla pura, de manera semejante a la situación señalada por Darot (1974) en Sierra Bermeja.

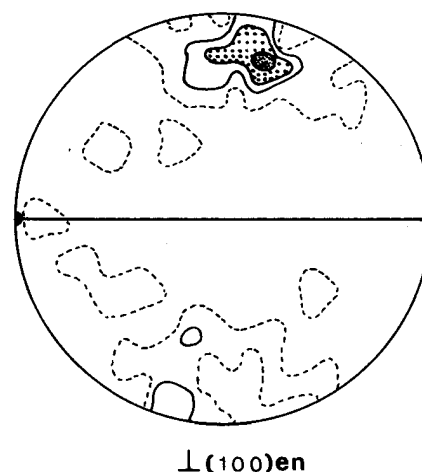


Fig. 5.—Diagrama de polos del cleavage (100) de la enstatita en una peridotita milonítica (proyección equiareal; hemisferio inferior; 40 medidas; contornos: 0.5/1.5/2.5 > 3.5 %). Sección XZ (la línea indica la traza de la foliación y los puntos en sus extremos, la lineación). La oblicuidad del plano de deslizamiento intracrystalino (100) respecto a la foliación indica el sentido de cizallamiento.

La deformación alcanzó valores elevados en las cercanías del contacto, de acuerdo con el pequeño tamaño de grano de las rocas de dicha zona, y con los ángulos de cizallamiento grandes que se deducen de los modelos de diagramas de orientación preferencial cristalina de la enstatita en las peridotitas miloníticas (fig. 6).

orientación de la lineación. El repetido sentido de asimetría de las sombras de presión de los porfiroclastos en las milonitas cuarzo-feldespáticas señala un sentido de cizallamiento (fig. 3) coincidente con el que indican la inclinación sistemática del cleavage (100) de la enstatita respecto de la foliación (fig 5) y los diagramas de la fábrica de la enstatita (fig. 6)

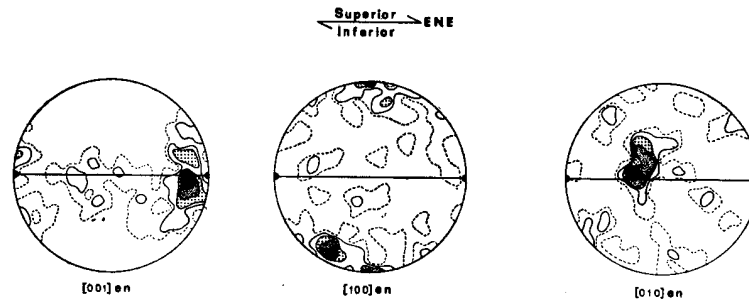


Fig. 6.—Diagrama de orientación preferencial cristalina en sección XZ, de enstatita en una milonita peridotítica (proyección equiareal; hemisferio inferior; 50 medidas; contornos: 0.5/1.5/2.5/3.5 > 4.5 %). Los máximos de [100] y [001] a ángulos elevados y bajos, respectivamente, con la lineación son consistentes con la activación del sistema de deslizamiento (100) [001], único posible en la enstatita (Nicolás y Poirier, 1976). La oblicuidad de [001] con respecto a la traza de la foliación es semejante a la posición media del cleavage (100) en la figura 5, y ambas son coherentes con el sentido de cizallamiento que se obtiene de las microestructuras (figs. 3 y 4).

Discusión: dirección y sentido de las traslaciones

Varios autores (ver Egeler y Simon, 1969; Paquet, 1974) han considerado que los conjuntos de la Zona Bética se han movido en dirección noreste-suroeste, con anterioridad a la etapa de traslaciones hacia el norte, de edad Miocena; esta fase previa de desplazamientos se designa, habitualmente, como “etapa inicial de empilamiento”.

Las estructuras descritas anteriormente corresponden a un episodio de deformación dúctil asociado al emplazamiento del manto de Los Reales, por lo que pueden atribuirse a la “etapa inicial de empilamiento”, ya que la que origina los desplazamientos hacia el norte se realiza en condiciones frágiles (Aldaya, 1969; Egeler y Simon, 1969).

Si la deformación por cizalla simple es intensa los elementos estructurales (foliación y lineación de estiramiento) tienden, prácticamente, a coincidir con los cinemáticos (plano de flujo y dirección de flujo) (Etchecopar, 1977). Esto ocurre al norte de Sierra Alpujata, por lo que la lineación de estiramiento de las milonitas es un indicador adecuado de la dirección de movimiento del manto de Los Reales sobre el de Ojén.

La dirección de movimiento es aproximadamente WSW-ENE, según lo expuesto previamente sobre la

en las milonitas peridotíticas cercanas al contacto. El sentido de cizallamiento es tal que determina el desplazamiento de la parte superior (manto de Los Reales) con respecto a la inferior (manto de Ojén) desde el WSW hacia el ENE.

Conclusiones

El contacto entre las peridotitas de Sierra Alpujata y las milonitas cuarzo-feldespáticas del manto de Ojén subyacente corresponde a la etapa inicial del apilamiento de mantos de la Zona Bética. El estudio de sus estructuras pone de manifiesto la existencia de desplazamientos hacia el ENE en los Mantos Alpujarrides del sector occidental de las Zonas Internas de las Cordilleras Béticas.

Bibliografía

- ALDAYA, F.
1969. Sobre el sentido de los corrientes de los Mantos Alpujarrides al sur de Sierra Nevada (Zona Bética, provincia de Granada). *Bol. Geol. Min.*, 80, 212-217.
- BERTHÉ, D.; CHOUKROUNE, P. y JEGOUZO, P.
1979. Orthogneiss, mylonite and non coaxial deformation of granites: The example of the South Armoricain Shear Zone. *J. Struct. Geol.*, 1, 31-42.

- BOUCHEZ, J. L. y PÊCHER, A.
1981. The Himalayan Main Central Thrust Pile and its quartz-rich tectonites in Central Nepal. *Tectonophysics*, 78, 23-50.
- DAROT, M.
1974. Cinématique de l'extrusion, à partir du manteau, des péridotites de la Sierra Bermeja (Serranía de Ronda, Espagne). *C. R. Acad. Sc. Paris*, 278, 1673-1676.
- DURAND-DELGA, M.
1968. Coup d'oeil sur les unités malaguides des Cordillères bétiques (Espagne). *C. R. Acad. Sc. Paris*, 266, 190-193.
- DÜRR, S.
1967. Geologie der Serrania de Ronda und ihrer Südwestlichen Ausläufer (Andalusien). *Geol. Romana*, 6, 1-73.
- EGELER, C. G. y SIMON, O. J.
1969. Sur la tectonique de la Zone Bétique (Cordillères Bétiques, Espagne). *Verh. Kon. Ned. Akad. v. Wetensch., Afd. Nat. Amsterdam*, 25, 1-190.
- ETCHECOPAR, A.
1977. A plane kinematic model of progressive deformation in a polycrystalline aggregate. *Tectonophysics*, 39, 121-139.
- KAMPSCHUUR, W.
1972. *Geology of the Sierra de Carrascoy (SE Spain) with emphasis on Alpine polyphase deformation*. Tesis doctoral, Universidad de Amsterdam. *GUA Papers of Geology*, 114 págs.
- NAVARRO-VILÁ, F. y TUBÍA, J. M.
1983. Essai d'une nouvelle différenciation des Nappes Alpujarrides dans le secteur occidental des Cordillères Bétiques (Andalousie, Espagne). *C. R. Acad. Sc. Paris*, 296, 111-114.
- NICOLAS, A.; BOUCHEZ, J. L.; BOUDIER, F. y MERCIER, J. C.
1971. Textures, structures and fabrics due to solid state flow in some european Lherzolites. *Tectonophysics*, 12, 65-86.
- NICOLAS, A.; BOUCHEZ, J. L. y BOUDIER, F.
1972. Interprétation cinématique des déformations plastiques dans le massif lherzolitique de Lanzo (Alpes piémontaises). Comparaison avec d'autres massifs. *Tectonophysics*, 14, 143-171.
- NICOLAS, A. y POIRIER, J. P.
1976. *Crystalline plasticity and solid state flow in metamorphic rocks*. Wiley - Interscience, London, 444 págs.
- PAQUET, J.
1974. Tectonique éocène dans les Cordillères bétiques; vers une nouvelle conception de la paléogéographie dans la Méditerranée occidentale. *Bull. Soc. Géol. France*, 16, 58-73.
- SIBSON, R. H.
1977. Fault rocks and fault mechanisms. *J. Geol. Soc. London*, 133, 191-215.
- TUBÍA, J. M. y CUEVAS, J.
Nappe-related structures in the Western Alpujarrides (Southern Spain) (en preparación).
- WESTERHOF, A. B.
1977. On the contact relations of High-temperature peridotites in the Serranía de Ronda, Southern Spain. *Tectonophysics*, 39, 579-592.

Recibido el 1 de diciembre de 1983.
Aceptado el 25 de mayo de 1984.

De Martonne aplicado a Arabia, da valores de 2.14 para Dhahran, 2.11 para Jeddah y 3.31 para Riyadh (con propósitos comparativos piénsese que este mismo índice es de 17.5 para Madrid y de 26.9 para París). En el mapa de regiones áridas de Meigs (1953), Arabia pertenece a la categoría árida o extremadamente árida, con extensas zonas de “desiertos arenosos”.

Las precipitaciones medias anuales oscilan entre valores de aproximadamente 20 milímetros en Al Wajh y Yenbo y 270 milímetros en Khamis Mushait,

mensual de julio alcanza más de 36°C en Abqaiq y Dhahran. En otros puntos del país las temperaturas de verano son menos rigurosas (promedios de julio de Riyadh: 34.5°C; de Jeddah: 31.4°C; de Taif: 27.9°C).

La humedad relativa es extremadamente baja en el interior (el promedio de julio es de 13% en Riyadh, de 14% en Medina y 16% en Al Gassim) y más moderada a lo largo de la costa del Golfo (los promedios mensuales oscilan entre 41.3% y 67.5% en Dhahran, y entre 58.8% y 73.3% en Ras Tanurah)

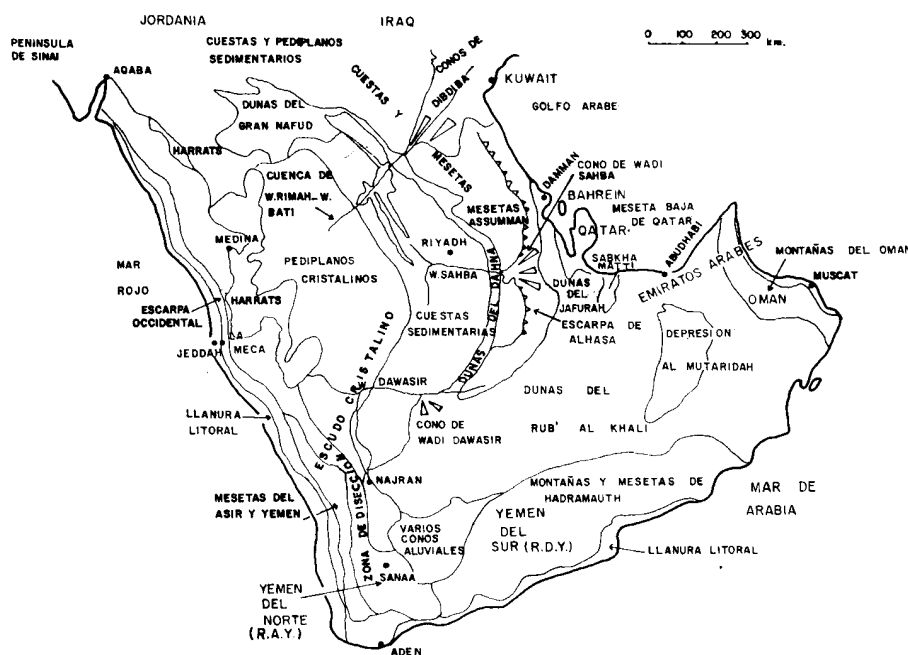


Fig. 1.—Zonas geomorfológicas de la península de Arabia.

a 2.050 metros de elevación (aunque valores mayores se dan en las montañas aledañas).

De acuerdo a Reichel (1975), la mayor parte de la península se encuentra comprendida por debajo de la isoyeta de 100 milímetros. En el ángulo sur-occidental de la región se observan valores superiores a los 100 milímetros, y hay una extensa zona con precipitaciones de 200 milímetros o más, llegando a más de 500 milímetros anuales en las montañas del Asir y Yemen.

Sin embargo, las áreas de precipitaciones superiores a 200 milímetros anuales, no ocupan más de un 10% del área total de la región.

Las temperaturas medias anuales oscilan entre aproximadamente 19°C en las tierras altas del Asir, y alrededor de 30°C en Jizan (tierras bajas del suroeste). Los valores extremos se registran en verano a lo largo de la costa del Golfo, donde el promedio

y del Mar Rojo (promedios mensuales de 57% a 68% en Jeddah y de 63% a 74% en Jizan).

Debido a la extensión latitudinal de la península, sumado a la existencia de barreras orográficas bien definidas, las direcciones predominantes de los vientos varían sensiblemente de acuerdo a la localidad de registro. En el norte predominan los vientos del oeste y del noroeste, y en el sur los vientos de los cuadrantes del este. En la zona del Golfo, durante la primavera y primera parte del verano, se siente el efecto del centro de baja presión del continente asiático, que dinamiza una circulación atmosférica superficial en sentido directo. Durante este período se generan vientos extremadamente potentes y constantes (vientos “shamal”, del árabe “norte”), que disminuyen en agosto y septiembre.

Durante el invierno, los ciclones extratropicales cruzan a través del Mar Mediterráneo y Medio Oriente

te, llegando relativamente debilitados a la península arábiga. Estos ciclones traen frecuentes vientos asociados a sus frentes con dirección predominante sur y sureste.

En ciertas ocasiones, algun ciclón tropical, originado sobre el Mar de Arabia y el Océano Indico, puede llegar a afectar el territorio árabe, particularmente a lo largo de las costas de Omán y Yemen del Sur.

El período de verano o del "shamal", es aquel en que la intensidad del viento es más efectiva desde el punto de vista ambiental, debido a la simultánea disminución de la protección vegetal.

En la región del Rub'Al-Khali (ver fig. 1), los vientos estivales predominantes son de noreste y este, alineándose gradualmente hacia el sur con los vientos alisios de verano.

La orientación de las dunas de arena muestra la variación direccional de los vientos efectivos (de alta velocidad y persistencia en períodos de baja densidad vegetal) desde direcciones extremas oeste-noroeste en el Gran Nafud, pasando por direcciones intermedias norte-noroeste y norte-noreste en el Jafurah y Rub'Al-Khali nororiental, respectivamente, hasta direcciones francamente este en el Rub'Al-Khali occidental.

Lluvias escasas, temperaturas elevadas, vientos aridificantes, humedad atmosférica baja y carencia de vías fluviales permanentes (alóctonas y autóctonas) hacen de la península arábiga un ambiente de aridez generalizada y persistente.

Los procesos geológicos y geomorfológicos, la vida vegetal y animal y las actividades humanas, se ven afectadas constantemente por esta limitante que el medio impone.

La larga duración del período geológico árido actual (se estima que la aridez climática comenzó a mediados del Terciario) posibilitó la evolución de especies vegetales adaptadas a este rigor climático. Las formas de adaptación han sido múltiples: disminución del tamaño de las hojas para reducir la evapotranspiración, aumento de la longitud del sistema radicular, aumento de la presión osmótica, desarrollo de hojas carnosas, etc.

Debido a la alta salinidad frecuente de las aguas superficiales y subterráneas, también son comunes las adaptaciones halófilas. Algunas plantas pueden resistir salinidades superiores a 10.000 p. p. m. (total de sólidos disueltos). Es el caso del árbol *Avicennia marina*, que, a veces, soporta salinidades del orden de 50.000 p. p. m. en los manglares del Golfo.

Como resultado de esta adaptación generalizada, y a pesar de la aridez climática, es posible observar una cobertura vegetal relativamente densa, con comunidades adaptadas a los diferentes ambientes de la península (arenosos, pedregosos, salinos, etc.).

Las comunidades de las zonas arenosas incluyen —entre otras especies— los pastos psamófilos *Cyperus conglomeratus*, *Stipagrostis plumosus* y *Panicum turgidum*, y los arbustos *Calligonum comosum*, *Haloxylon salicornicum* y *Zygophyllum coccineum*.

Cuando hay una capa de agua adecuada cerca de la superficie, pueden aparecer varias especies del género *Tamarix* (*T. passerinoides*, *T. ramosissima*), varias acacias (*A. ehrenbergiana* y *A. tortilis*) y comunidades de palmas (*Phoenix dactylifera* —palma datilera—, *Modenica argum* y *Hiphaene tebaica*), estas últimas en parte cultivadas y en parte espontáneas.

En las zonas rocosas, la vegetación crece con problemas por la dificultad mecánica de extensión del sistema radicular y la sequedad del suelo. Entre las especies dominantes de las comunidades de las áreas rocosas se destacan: *Ambasis articulata*, *Gymnocarpus decander*, *Zygophyllum dumosum* y *Reaumuria hirtella* (M. Zohary, 1973).

En el suroeste del país, donde la pluviosidad es más elevada, se desarrollan comunidades boscosas raras, incluyendo principalmente especies de los géneros *Acacia* y *Commiphora*, *Oleeta africanae* y *Junipereta procerae*.



Fig. 2.—Bóvidos en los grabados prehistóricos de Hanakiyah, cerca de Medina.

A lo largo de las costas se desarrollan especies adaptadas a las altas salinidades litorales. Los manglares del Golfo, hoy en estado de degradación antrópica, incluyen comunidades puras de *Avicennia marina*, y otras pluriespecíficas de *Arthrocnemum glaucum* y *Halocnemum strobilaceum*.

Todas estas comunidades sobreviven en estado de equilibrio precario en un medio de extrema severidad ambiental. Normalmente, pueden soportar una muy limitada población pluriespecífica de herbívoros.

Y, efectivamente, así fue durante la última parte del Pleistoceno y primeros dos tercios del Holoceno. Venados, orix, bóvidos, avestruces, antílopes, cebras y jirafas, pastaban en las estepas y desiertos de Arabia, tal como es observado en los grabados prehistóricos de Hanakiyah, cerca de Medina (ver fig. 2). La apa-

rición del pastoreo, desarrollado sobre todo a partir de la domesticación del camello hace unos cuatro mil años (Doe, B 1971), alteró dicho equilibrio, debilitando aun más la fragilidad intrínseca de los ecosistemas áridos.

En los últimos decenios, dicha tendencia se ha agravado, pudiéndose constatar un empobrecimiento en la composición florística de ciertas comunidades y una disminución generalizada de la densidad vegetal durante los períodos de máxima sequía.

GEOGRAFIA FISICA DE LA PENINSULA ARABIGA

La península arábica está compuesta por un mosaico de unidades fisiográficas cuyo origen se relaciona con estructuras geológicas definidas (Powers, 1966; Chapman, 1978). Las principales unidades son las siguientes (*):

1. el escudo cristalino occidental,
2. las mesetas y cuevas sedimentarias centrales,
3. las montañas y mesetas del Hadramauth,
4. las montañas de Omán,
5. los campos de dunas,
- y 6. las llanuras litorales.

El escudo cristalino occidental

Es una unidad compleja con un sustrato de rocas cristalinas que fue basculado durante el período Terciario alrededor de un eje NNO-SSE. El borde occidental fue levantado, fracturándose en sus extremos a lo largo de un sistema de fallas desarrolladas en el contacto con el compartimento tectónico subsidente (en hundimiento) del Mar Rojo. En esta zona se formó un potente escarpe, como consecuencia de la erosión Terciaria y Cuaternaria de las márgenes del escudo.

Al este, el escudo se hundió conjuntamente con las formaciones sedimentarias suprayacentes, posibilitando también la subsecuente acumulación de depósitos sedimentarios durante la segunda mitad del Cenozoico.

El escudo cristalino occidental puede ser dividido en las siguientes unidades secundarias:

- El escarpe occidental.
- Las mesetas del Asir
- Las zonas de disección

(*) A los efectos de simplificar la sectorización geomorfológica de la península, solo hemos utilizado parcialmente las clasificaciones de autores anteriores. Las unidades propuestas en el presente trabajo son el resultado de una síntesis de los autores mencionados (Powers, 1966 y Chapman, 1978) y de varios trabajos del autor (Anton, 1980, 1981 y 1982).

- Los valles intermedios.
- Los pediplanos cristalinos.
- Los Harrats.

El escarpe occidental

Está constituido por el retroceso erosivo del margen elevado del escudo cristalino. Los valles son cortos y de pendientes fuertes y muy fuertes (promedios de 2 a 5%) con conos de deyección en el pie de monte. En algunas zonas, estos depósitos al pie del escarpe colmatan los valles y cubren los interfluvios, formando una rampa de acumulación buzando en dirección este-sureste. Debido a su magnitud orográfica (con desniveles de hasta 2.000 metros con relación a las planicies adyacentes) y a su orientación enfrentada a los cuadrantes del este (de donde provienen gran parte de los sistemas portadores de lluvias), el escarpe es una zona de precipitaciones orográficas.

La ascensión forzada del aire del este provoca condensación de la humedad atmosférica y lluvias en el borde de la meseta. Parte de esas precipitaciones se escurren hacia el este, erosionando las cabeceras de los valles y transportando los sedimentos al pie de monte en el límite con la llanura litoral del Mar Rojo.

Las mesetas del Asir

La región suroccidental de la península fue la que sufrió el mayor ascenso relativo en el movimiento de bascula del escudo cristalino. Antiguas superficies de aplanamiento cuyo origen no ha sido cuidadosamente investigado aún, fueron elevadas y ampliamente disectadas. Este fenómeno sucedió por el retroceso de la escarpa al oeste y al este por el retroceso de las cabeceras de los wadis de la vertiente occidental.

Debido a dicha disección, la meseta del Asir está hoy reducida a una franja relativamente angosta, y en partes discontinuas de tierras altas (de 1.500 a 3.000 m. de altitud) suavemente onduladas, e incluso planas, con relieves intercalados más elevados de tipo "inselberg" (constituidos por rocas ígneas o metamórficas) o elevaciones de tipo "mesa" (coronadas por rocas sedimentarias antiguas, principalmente de la formación Wajid, de edad Paleozoica).

En esta meseta se observan remanentes de suelos rojizos de edad probable cuaternaria antigua, indicando la existencia de climas más húmedos en tiempos geológicos relativamente recientes.

Las zonas de disección

Se trata de la región de cabeceras y valles superiores de la vertiente oriental del escudo cristalino.

Si bien las pendientes son menos empinadas que en la vertiente occidental (0.4-1%), son todavía suficientemente empinadas como para posibilitar un régimen torrencial en los valles superiores.

El área es montañosa, con valles angostos cuyos fondos están parcialmente rellenos con una capa de sedimentos groseros (gravas y arenas) de espesor variable (0 a 30 ms.).

Las divisorias de aguas locales pierden altitud en dirección este, respondiendo a la inclinación general provocada por el basculamiento de las superficies antiguas (que presumimos aproximadamente tangenciales a las cimas de los interfluvios).

Los valles intermedios

Se trata del curso medio de los valles, que corren en dirección noreste y este desde las zonas de disección suroccidentales a los pediplanos y campos de dunas del este.

Hay una tendencia al ensanchamiento de los valles hacia el curso bajo, y las laderas se ven afectadas por una erosión regresiva generalizada con rampas de erosión y acumulación coalescentes bastante desarrolladas a ambos lados de los canales y terrazas fluviales.

Las acumulaciones aluviales son relativamente espesas (hasta 40-50 ms. en Wadi Bishah y Wadi Tathlith), compuestas de sedimentos groseros en la base, recubiertos de limos y gravas en la cima.

Los principales wadis en donde se desarrollan dichos valles intermedios son los Wadis Habawnah y Najran en el sur (ambos desembocando en los campos de dunas del Rub'Al-Khali suroccidental), los Wadis Bishah, Tathlith, Ranyah y Turabah en la gran cuenca central del Wadi Dawasir, y los Wadis Ar-Rimah y As-Sirham en el centro-norte de la península. Estos wadis son áreas de almacenamiento de las aguas pluvio-fluviales en mantos subterráneos poco profundos intensamente utilizadas con propósitos de uso doméstico, irrigación y fuente de agua de beber para los rebaños de camellos y cabras que pastorean en los desiertos aledaños. Un cierto número de pueblos y ciudades se ha establecido alrededor de los pozos excavados en los aluviones de los valles intermedios (p. ej.: Bishah, Tathlith, Ranyah, Habawnah, Najran, etc.).

Los pediplanos cristalinos

En el curso inferior de los wadis de la vertiente oeste, los valles se ensanchan aún más, los depósitos aluviales de los diferentes valles coalescen parcialmente y los interfluvios se achican, apareciendo, finalmente, como simples remanentes discontinuos alineados siguiendo las divisorias de aguas. En muchos

casos, estos interfluvios están casi totalmente recubiertos por los aportes laterales de sedimentos. Las vías de drenaje se muestran difusas, pobremente definidas, y la energía general del relieve disminuye.

Aquí y allá se observan macizos de disección aislados, pero la morfología dominante es la de un pediplano discontinuo, en donde unos pocos wadis mayores logran expresarse geomorfológicamente en forma débil. Esta zona corresponde a los cursos inferiores-medios de los Wadis Bishah, Ranyah, Tathlith, Ar Rimah y As-Sirham en lo que se conoce como el pediplano del Najd.

Los Harrats

Son formas características de las zonas cristalinas recubiertas por lavas básicas en la región centro-occidental del escudo. Se trata de mesetas bajas, pobremente disectadas, formadas por coladas de lavas casi horizontales superpuestas, recubriendo rocas cristalinas y, en algunos casos, sedimentos acumulados en cuencas locales del escudo.

Las lavas son básicas, constituidas por basaltos, andesitas y traquitas y, secundariamente, riolitas, que parecen haberse depositado a través de un volcanismo relativamente tranquilo. Las coladas se extienden a lo largo de los wadis (p. ej.: Wadi Ranyah), ocupando el fondo del valle, a veces recubriendo antiguos depósitos aluviales (ver fig. 3).

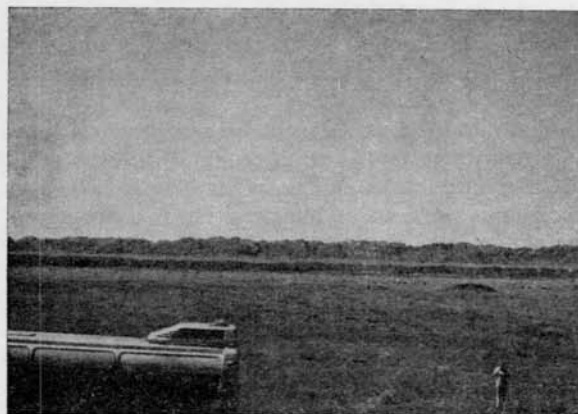


Fig. 3.—Colada basáltica ocupando el fondo de un valle fluvial. Al fondo, se observan las colinas cristalinas del escudo, y en primer plano una rampa de erosión lateral.

Pequeños conos volcánicos son claramente visibles en la mayor parte de las áreas efusivas, demostrando la edad relativamente reciente de estas rocas (los conos no han sido erosionados aún). Esta estimación de edad es confirmada por medidas de edad absoluta usando métodos radiométricos (Höetzel *et al.*, 1978)

que ubican estos basaltos en el Plioceno superior-Pleistoceno inferior.

Los Harrats del sur (Yemen del norte, Asir) son probablemente más antiguos y se expresan como mesetas elevadas asociadas con las superficies de aplanamiento Terciarias del Asir y Yemen (aunque generalmente en posición topográfica más baja). Los basaltos que los constituyen parecen ser también considerablemente más antiguos, pues cubren y localmente metamorfizan (térmicamente) al contacto unas lateritas de edad probable Terciaria inferior.

Las mesetas y cuevas sedimentarias centrales

Esta unidad está ubicada al este del escudo cristalino (ver fig. 1). Se trata de un complejo sedimentario que buza suavemente hacia el este como consecuencia de un basculamiento general del sustrato, en donde se encuentra una secuencia bastante completa de rocas sedimentarias paleozoicas, mesozoicas y cenozoicas.

Las estructuras sedimentarias se orientan perpendicularmente a la pendiente, su rumbo es norte-sur en el centro de la península, curvándose hacia el oeste en el norte y al sur de Arabia Saudí. En las regiones más erosionadas, y debido a que la pendiente regional es perpendicular a las estructuras, se ha formado un relieve de cuevas. Este relieve está compuesto por escarpes (laderas empinadas cortas) que miran al oeste asociadas con las capas sedimentarias más resistentes y por laderas suaves largas inclinadas en dirección este. Por esa razón, los wadis secundarios son cortos y torrenciales hacia el oeste y largos y menos energéticos hacia el este.

Ambos tipos de wadis menores confluyen en otros wadis más importantes de dirección norte-sur, paralelos a las estructuras, que, a su vez, son los afluentes principales de los wadis mayores. Estos últimos son, generalmente, más antiguos, y se han sobreimpuesto en el relieve emergente, logrando de esa forma atravesar los escarpes (en sentido contrario a la pendiente de éstos) perpendicularmente a las estructuras a través de gargantas estrechas y profundas. Es el caso de los Wadis Dawasir (cerca de Sulayyil, Centro de Arabia Saudí) y Birk, que atraviesan el gran escarpe Tuwayq, de los Wadis Rimah y Bati, que atraviesan las cuevas en dirección este-noreste y del sistema de los Wadis Nisah-Al Ausat-Sahba (al sur de Riyadh), cuyos valles atraviesan hacia el este los principales escarpes de cuesta, desde el escudo hasta las cercanías de la costa del Golfo.

Todos los wadis antes mencionados permanecen secos la mayor parte del año y solamente existe flujo fluvial efectivo durante las lluvias intensas y prolongadas. Aun en este caso, no se observa una organización actual del escurrimiento; la mayor parte del agua co-

rriente se infiltra a través de los aluviones permeables, recargando los mantos subterráneos e interrumpiendo el flujo continuo en los lechos de los wadis.

Solo en muy raras ocasiones (cuya frecuencia ignoramos, pero asumimos inferior a una vez por lustro) se registra flujo generalizado a lo largo de toda una cuenca mayor.

Durante los lapsos prolongados sin flujo, muchas áreas son afectadas por la removilización eólica de los sedimentos aluviales, con formación de dunas en los lechos, dificultando aún más el escurrimiento durante los episodios efímeros de funcionamiento fluvial. Sin embargo, durante el Plioceno superior y Pleistoceno inferior (aproximadamente entre tres y un millón de años antes del presente) y en el Pleistoceno superior-Holoceno inferior (probablemente entre 30.000 y 20.000 años, y entre 10.000 y 7.000 años, antes del presente) estos sistemas hidrográficos estaban activos y fueron, en definitiva, los responsables por la formación de los valles y depósitos aluviales existentes (Powers, 1966; Holm, 1968; Hoetzi *et al.*, 1978, y Antón, 1980).

Hacia el este, el buzamiento regional y las pendientes disminuyen considerablemente, y se pasa de un relieve de cuevas, bien marcado al oeste, a una topografía de mesetas bajas ligeramente inclinadas hacia el Golfo. El subsuelo de esta última región está constituido por un complejo de formaciones terciarias (marinas y litorales más antiguas al oeste —formaciones Umm Er Radhuma, Rus y Dammam— y continentales y litorales más modernas al este —formaciones Hadruk, Dam y Hofuf—).

Estas mesetas, que reciben varios nombres regionales (As Summam, Shedgum, Al Lidam), están recubiertas por pavimentos y costras calcáreas duras, que dificultan el crecimiento de la vegetación. Solamente unos pocos wadis las atraviesan, formando valles de profundidad moderada (p. ej.: Wadis Sahba y Bati). Muy pocos cursos de agua (normalmente efímeros y mal definidos) se originan en el área, desapareciendo debido a la infiltración y evaporación antes de llegar al Golfo.

Las montañas y mesetas del Hadramaut

Se trata de un compartimento elevado asimétrico, formado por rocas sedimentarias del Terciario inferior y Cretáceo superior, recubriendo el basamento cristalino Pre-Cámbrico que buza hacia la cuenca sedimentaria del Rub'Al-Khali (ver Sección 5).

El relieve está constituido por mesetas inclinadas suavemente hacia el norte y nor-noroeste, con una vertiente más abrupta que desciende hacia el mar de Arabia. Las zonas más elevadas se encuentran en el extremo sur-occidental, cerca de la frontera entre las dos repúblicas del Yemen, donde alcanzan elevaciones superiores a los 3.000 metros.

Hacia el este-noreste, la divisoria de aguas desciende hasta una altitud de menos de 1.000 metros, y se acerca a la costa en el Dhofar (Sultanato de Omán) frente a las islas de Kuria Muria.

Un cierto número de wadis, que fluye hacia el norte, han excavado valles relativamente profundos parcialmente rellenos de aluviones Terciarios y Cuaternarios. En el caso de los Wadis Aywat Al Sayar, Hazar Khudrah, Qinab, Manahil y Armah, que forman extensos conos de deyección en el margen sur del Rub'Al-Khali (área de Shiqaq Al-Maatif y Uruq Al-Mawarid) y probablemente constituyeron una fuente importante de arenas —disponibles para la removilización eólica— en los campos de dunas del Rub'Al-Khali meridional—.

Hacia el sur, los wadis son aún más profundos y cortos, y están rellenos de aluviones en los cursos bajos. En las llanuras litorales contiguas estos depósitos aluviales se interdigitan con depósitos marinos y litorales.

Las montañas de Omán

La zona montañosa de Omán está formada por relieve de tipo "Alpino" vinculados al cinturón plegado de las montañas de Zagros en Irán. El sustrato está constituido por rocas sedimentarias Paleozoicas y Mesozoicas deformadas, cubiertas por ofiolitas y sedimentos Terciarios horizontales.

Se trata de una franja angosta que se extiende aproximadamente por 500 kilómetros en dirección este-sureste-norte-noroeste, curvándose en dirección norte hasta el estrecho de Hormuz, en donde forma la península de Musandam (que pertenece al Sultanato de Omán, al norte del Emirato de Fujairah).

Las elevaciones máximas alcanzan los 3.000 metros en las zonas centrales de la cadena, pero la altitud media es sensiblemente menor (del orden de los 1.000 metros).

Los campos de dunas

En la península arábiga existen un gran número de campos de dunas de tamaños y características variables. Los cuatro campos más grandes (de dimensión regional) son el Rub'Al-Khali (con un área aproximada de 550.000 kms²), ubicado al centro-sur de la península; el Gran Nafud (área de 50.000 kms²), al norte; los campos del Jafurah (área aproximada: 40.000 kms²), ubicados al este, y el Dahna (área aproximada: 45.000 kms²), que forman una faja angosta y larga desde el Rub'Al-Khali al Gran Nafud.

Hay otros campos menores, pero aún de dimensiones apreciables en otros puntos de la península. Entre ellos destacaremos los siguientes: Irq Subay, Irq Al-Wadi, Nafud Ath Thuwayrat, Nafud As Sirr,

Irq Ban Ban, Nafud Al-Ghami, Nafud Qunayfidhah, Nafud Ad Dahi, Ramlat, Al-Ikrish y Nafud Hanjaran.

La mayoría de los campos de dunas están ubicados en áreas de relieve relativo bajo, en las márgenes de planicies aluviales y/o litorales. Aparentemente, una buena parte de las arenas eólicas provienen precisamente de la removilización de aluviones o sedimentos lacustres conteniendo un porcentaje apreciable de arena.

La morfología dunar es variable, dependiendo, entre otras cosas, de las características de los vientos, de la arena disponible, del relieve local, de la cobertura vegetal presente y de las perturbaciones antrópicas. En los párrafos siguientes describiremos las características particulares de los principales campos de dunas de Arabia.

Los campos del Jafurah

Los campos de dunas del Jafurah están situados entre los paralelos 24 y 27 norte, al este del meridiano 49° 30' E, en las tierras bajas contiguas al litoral del Golfo. Forman una banda angosta al norte

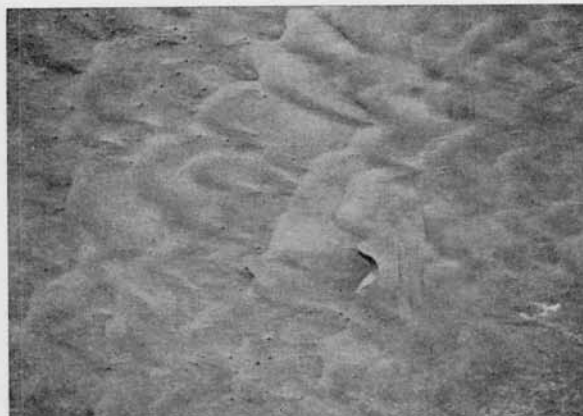


Fig. 4.—Un barjan solitario rodeado de dunas parabólicas en el Jafurah.

que se ensancha hacia el sur, coalesciendo con los campos de dunas del Rub'Al-Khali. La vegetación es relativamente densa en amplias áreas de la región, pero, debido a continuas actividades de pastoreo desde el comienzo del período histórico, su densidad ha disminuído al punto de permitir un creciente ataque eólico de las superficies desguarnecidas, formando campos de dunas extensos al sur de la región (ver figs. 4 y 5).

Estos campos de dunas son sólo un fenómeno local en el Jafurah central y nórdico, y el tamaño de las formas eólicas es relativamente pequeño. Al sur, los

campos dunares son más extensos y las dunas más voluminosas.

En toda el área, los vientos son unidireccionales (predominantemente), por lo que las dunas originadas son del tipo "parabólico" (formadas por deflación de áreas desprotegidas), o barjánico (formadas por acumulación viento abajo de los campos parabólicos).

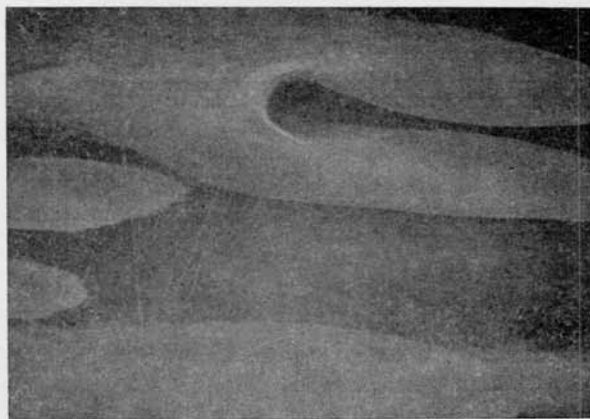


Fig. 5.—Barjan atravesando un sabkha cerca de la costa del Golfo Árabe.

En las depresiones cercanas al mar, el manto de agua es casi tangente a la superficie, y se produce un equilibrio inestable entre el nivel dinámico del agua hipodérmica y la acción eólica (deflación-acumulación de arenas eólicas). Las superficies resultantes son planas y arenosas, con frecuente acumulación de una costra salina superficial y niveles yesíferos a unos pocos decímetros de profundidad. Estas superficies son llamadas "sabkhas".

Los barjanes viajan recorridos solitarios sobre los sabkhas coalescen formando campos de barchanes. En los sabkhas, las dunas pierden sus estructuras de base (retenidas por humedad que viene de la capa de agua y posterior cementación salina) y la cima, debido a la creciente velocidad del viento al disminuir las asperezas superficiales.

Los campos de dunas del Rub'Al-Khali

El Rub'Al-Khali o "Cuarto Vacío" es la región mayor en donde un sistema árido eólico se encuentra en actividad en la península, y constituye probablemente uno de los campos de dunas activas más grandes del mundo (550.000 kms²). Casi toda la mitad sur de Arabia Saudí, el norte de Yemen del Sur y partes de Omán y los Emiratos Árabes Unidos, se encuentran cubiertos por extensiones dunares prácticamente ininterrumpidas (ver fig. 6).

Localmente se encuentran remanentes pequeños de

relieves más antiguos (normalmente cerca de la periferia) o superficies de gravas o sabkhas no recubiertos por las arenas eólicas.

Las precipitaciones en el área son inferiores a 50 milímetros, aunque no se dispone de información muy precisa al respecto.

Cuando llueve, el agua sólo moja los granos cerca de la superficie, evaporando rápidamente más tarde o se infiltra (en el caso de lluvias torrenciales) a través de la espesa capa arenosa, recargando los mantos de agua poco profundas debajo de las dunas. Esporádicamente, se aprecia un poco de escurrimiento superficial a lo largo de las laderas de los cordones dunares, con selección de arenas de diferentes tamaños y formación de micro-pedimentos inclinados hacia el interior de las depresiones inter-dunares. No se observa concentración del escurrimiento en ninguna parte, y el modelado fluvial está totalmente ausente.

Sin embargo, el Rub'Al-Khali es un área compleja, con una larga historia de cambios climáticos y geomorfológicos. Los dos principales factores que han influenciado la evolución del paisaje en el área son: la cantidad de precipitaciones (y, asociada con ésta, la densidad de la cobertura vegetal) y los cambios de dirección del viento.

Los cambios en la pluviosidad son los que han determinado el tipo de régimen reinante y, por supuesto, la ausencia o presencia de flujo fluvial, las oscilaciones de los niveles lagunares, la erosión y formación de suelos, la acumulación de sales y la removilización eólica de la arena superficial.

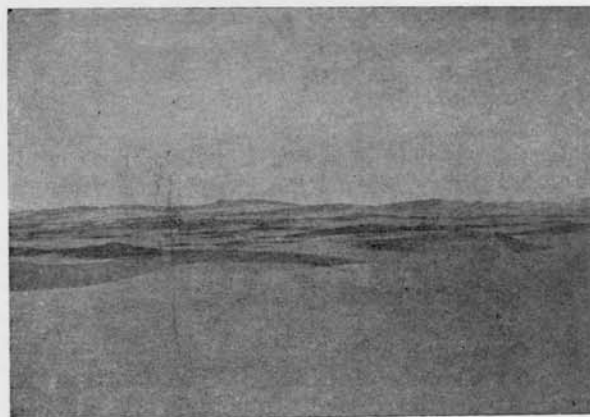


Fig. 6.—Extensiones dunares en el Rub'Al-Khali Occidental.

Los cambios en la dirección del viento, han afectado principalmente la morfología dunar, los antiguos cordones dunares fueron retrabajados y reconstruidos siguiendo una nueva dirección, dando lugar a la formación de dunas complejas, y desplazando las fuentes efectivas del aporte eólico.

En la región del Rub'Al-Khali se encuentran dos

sistemas de dunas principales. El más antiguo, está apoyado en las superficies aluviales Pliocenas y Pleistocenas, y localmente cubre los depósitos lacustres del Pleistoceno superior. Estas dunas antiguas desarrollaron un paleosol durante el Holoceno inferior y fueron recubiertas por nuevas dunas en una fase climática posterior (McClure, H. A., 1978).

De acuerdo a dataciones realizadas por McClure el primer período árido comenzó hace unos diecisiete mil años y terminó hace nueve mil años, y el segundo período comenzó hace unos seis mil años, y dura hasta el presente.

Los campos de dunas del Dahna

Se trata de una franja angosta (40 kms. de promedio) y muy larga (1.100 kms.), que se extiende desde la latitud de 20° 30' hasta los 28° 30' norte, formando un arco que sigue las estructuras geológicas sedimentarias de la región de las cuevas y mesetas centrales.

Están formados por varios cordones de dunas relativamente paralelos, que incluyen sistemas dunares complejos. Las dunas más comunes son las crestas barjánicas y las dunas en estrella, aunque también se encuentran dunas domo y dunas parabólicas.

En el área oeste de Khurays, se observan cinco cordones con dikakas ocupando las regiones interdunares. Los cordones dunares son los sitios donde la actividad eólica es más intensa.

A lo largo del corredor del Dahna se encuentran conos de deyección con suelos rojos bastante bien desarrollados (atribuibles a un clima húmedo en el Pleistoceno superior). Estos conos parecen haber sido la fuente de la mayor parte de las arenas removilizadas posteriormente durante las fases eólicas subsecuentes. El color rojo de los suelos explicaría el también intenso color rojizo de las arenas dunares.

Dos paleosuelos han sido observados (Antón, 1982) en la región de Khurays desarrollados en arenas eólicas bien definidas, que parecen dar evidencias de la existencia de dos períodos húmedos relativamente recientes, en que las dunas del Dahna fueron estabilizadas, que tal vez puedan correlacionarse con los paleosuelos del Rub'Al-Khali reconocidos por McClure (1978).

Los campos de dunas del Gran Nafud

Estos campos de dunas están ubicados en el norte de la península ocupando un área relativamente deprimida entre las latitudes de 27° 20' y 29° 45' N, y las longitudes de 38° 20' y 42° 40' E, con un largo de aproximadamente 300 kilómetros y un ancho de 250 kilómetros.

El Gran Nafud está constituido por una serie de

ondulaciones arenosas longitudinales y cordones paralelos de dunas (Uruq).

Genéticamente, el Nafud parece estar vinculado a la removilización eólica de depósitos aluviales originados en las cuencas vecinas de los Wadis Fajr y Nayyat. La presencia de areniscas aflorando al sureste de la región sugiere la existencia de una fuente importante de arena proveniente de la removilización aluvial de dichas areniscas (sobre todo la arenisca Saiq de edad Ordovícica).

Otros campos de dunas

Un cierto número de campos de dunas más pequeños están distribuidos en diferentes áreas de la península. Algunos están relacionados geográficamente con los cuatro antes mencionados, como, por ejemplo, los campos de Ramlat Dahm y Al-Arid, al occidente de Rub'Al-Khali y el Ramlat Al-Ikrish al sureste del Jafurah. Otros, siguen las estructuras curvadas de la región de cuevas sedimentarias de la Arabia Central, como los campos de Nafud Ath Thuwayrat, Nafud Al-Ghamis, Nafud Ash Shugayyigah, Nafud As Sirr, Nafud Qunayfidhah, Nafud Ad Dahi y Nafud Al-Wadi.

Algunos campos están asociados con planicies aluviales, como es el caso de Nafud Al-Ghamis (ubicado en el valle inferior de Wadi Rimah) y Nafud Al-Wadi (cerca de la llanura aluvial de Wadi Dawasir).

Desde un punto de vista geomorfológico estos campos de dunas tienen un comportamiento "intrazonal", siendo más el producto del equilibrio ambiental de la región en que se encuentran que con el clima actual de la península. Sin embargo, todos estos campos muestran una dinámica geomorfológica de tipo árido, con muy poco escurrimiento superficial, fuerte actividad eólica y reducida cobertura vegetal.

Las llanuras litorales

Son franjas de sedimentos litorales y de pie de monte intercalados, angostos, que se encuentran a lo largo de la costa de los tres mares de Arabia (Rojo, de Arabia —u Océano Indico— y Golfo Arabe o Pérsico).

A lo largo del Mar Rojo, hay potentes conos de deyección, que bajan del escarpe (ver sección 1) que se interdigitan con depósitos dejados por el mar durante las transgresiones Plio-Cuaternarias.

A lo largo del Océano Indico-Mar de Arabia, estas planicies costeras son aún más angostas, aunque no tan áridas, debido al aporte fluvial de las montañas vecinas.

En el Golfo, las llanuras litorales son más anchas, particularmente al sur, con intercalación de depresiones salinas (generalmente arenosas) llamadas "sabkhas" y campos de dunas (ver sección 5).

EL HOMBRE

En este mosaico de regiones geográficas que constituyen la península arábiga, se ha desarrollado una diversidad de actividades humanas desde los albores de la historia.

La mayor parte de la región es árida o semi-árida, con reducidas posibilidades agrícolas, por lo que, desde el punto de vista de las áreas ocupadas, la actividad más importante es el pastoreo nómada.

Prácticamente desde hace cuatro mil años, que es el momento en que se estima que se domesticó el camello (Doe, B, 1971) los desiertos de Arabia se abrieron al pastoreo. Debido a la fragilidad de la cobertura vegetal, sólo es posible practicar dicha actividad si se la asocia con una migración continua en busca de nuevos pastos, después que los pastos del lugar fueron utilizados.

Miles de pozos distribuidos por la península permiten sobrevivir los veranos secos y calurosos, y marcan límites a las zonas donde el pastoreo puede llevarse a cabo. Estos pozos están vinculados a cuencas superficiales de aluviones en el escudo y a manantiales relacionados con acuíferos profundos en los escarpes y regiones montañosas.

Cuando la cantidad de agua de pozo es suficiente, pueden aparecer actividades agrícolas que requieren irrigación y, así, legumbres, alfalfa, frutales y dátiles se dan en múltiples áreas de la península (ver fig. 7).



Fig. 7.—Palmeral en el noroeste de la península.

Entre las zonas en donde los cultivos de irrigación son comunes, se destacan los valles del escudo (Bishah, Najran, etc.), el oasis de Al-Hasa, en la provincia oriental; los oasis de la zona central (p. ej.: Riyadh y Al-Kharj) y los oasis de pie del escarpe en la llanura del Mar Rojo y del Océano Índico.

En el Asir y Yemen, debido a que la pluviosidad es más importante y la evapo-transpiración menor, es posible utilizar métodos de cultivo que no requie-

ren irrigación. Algunos bosques han sido aprovechados (y ahora están prácticamente agotados) para madera y leña y se practica una ganadería sedentaria.

Debido a la posición geográfica entre el Océano Índico y el Mediterráneo, y a la cercanía de las civilizaciones Egipcia y Mesopotámica, Arabia fue también una encrucijada de comercio, por la que transitaban las caravanas transportando productos a lo largo de varias rutas norte-sur. Esta actividad tradicional de comercio posibilitó el desarrollo de prósperas comunidades durante todo el período histórico conocido (los nabateos en Madain Salah, al norte de Medina; los griegos helenísticos en Thaj, al norte de Dammam, en la provincia oriental, y otros centros comerciales a lo largo del Mar Rojo y Océano Índico). La aparición de La Meca, Medina y Jeddah se relaciona a esta actividad comercial durante el primer milenio de nuestra era.

La explotación del petróleo a partir de los años cuarenta del siglo XX dio los necesarios elementos económicos para redesarrollar esa tradición comercial árabe inmemorial. Hoy, debido al influjo de recursos asociados con la exportación de este recurso geológico, se ha despertado la vieja vocación comercial árabe y cientos de ciudades nuevas aparecen de las viejas aldeas y oasis olvidados, en donde a los beduinos parcialmente sedentarizados se une una babel de trabajadores extranjeros, transformando el desierto de siempre en un gigantesco cantero de construcción cuyas consecuencias ambientales están cambiando radicalmente los ecosistemas de la península. El resultado final de estos profundos cambios es difícil de prever todavía.

Bibliografía

- ANTÓN, D.
1980. *Geomorphological Evolution of Saudi Arabia using Landsat Imagery and Existing Information*. Publicación interna del Research Institute, University of Petroleum and Minerals, Dhahran, Saudi Arabia.
1982. *Modern Eolian Deposits in the Eastern Province of Saudi Arabia*. Congreso Internacional de Sedimentología de Hamilton, Canadá.
- BAUMGARTNER, A. y REICHEL, E.
1975. *Die Weltwasserbilanz*. Munchen-Wien. Oldenbourg.
- CHAPMAN, R. W.
1978. *Geomorphology*. En "The Quaternary Period in Saudi Arabia". Al Sayari, S. S. y Zotl, J. G., Springer-Verlag. Wien-New York.
- DOE, B.
1971. *Southern Arabia*. McGraw Hill, 267 págs.
- HOETZL *et al.*
1978. Wadi Ar Rimah, Wadi Ad Dawasir and its Hinterland; Climatic Changes during the Quater-

- nary Period, en *Quaternary Period in Saudi Arabia*. Al Sayari, S. S. y Zotl, J. G. Springer-Verlag, Wien-New York.
- HOLM, D. A.
1960. Desert Geomorphology in the Arabian Peninsula. *Science*, 132.
- KÖPPEN, W.
1900. Versuch einer Klassifikation der Klimate, vorzugsweise nach ihren Beziehungen zur Pflanzenwelt. *Geogr. Z.*, 6.
- KÖPPEN, W. y GEIGER, R.
1936. *Handbuch der Klimatologie* Gebrüder Borntraeger, Berlín.
- MCCLURE, H. A.
1978. Ar Rub'Al-Khali. En *Quaternary Period in Saudi Arabia*. Al Sayari S. S. y Zotl, J. G., Springer-Verlag, Wien-New York.
- MARTONNE DE, E.
1926. *Traite de Geographie-Physique*, Cuarta edición, París.
- MEIGS, P.
1953. World Distribution of Arid and Semiarid Homoclimates. En *Reviews of Research in Arid Zone Hydrology*, UNESCO, París.
- POWERS, R. W. et al.
1966. Geology of the Arabian Peninsula: Sedimentary Geology of Saudi Arabia. *U. S. G. S., Prof. Paper*, 560-D, 1-147.
- REICHEL, E. y BAUMGARTNER, A.
1975. *Die Weltwasserbilanz*, Munchen-Wien, Oldenbourg.
- SCHYFSMA, E.
1978. "Climate". En *Quaternary Period in Saudi Arabia*. Al Sayari S. S. y Zotl, J. G., Springer-Verlag, Wien-New York.
- THORNWAITE, W.
1948. An Approach toward a Rational Classification of Climate, *Geog. Rev.*, 38, 55-94.
- ZOHARY, M.
1973. *Geobotanical Foundations of the Middle East*, 2 vols., G. F. Verlag-Swets & Zeitlinger, Stuttgart-Amsterdam.

Recibido el 6 de diciembre de 1983.
Aceptado el 17 de septiembre de 1984.