

Características de la fábrica en los suelos volcánicos de La Laguna (Tenerife)

Por GONZÁLEZ DE VALLEJO, L. (*), MEDINA NÚÑEZ, J. A. (**), y LEGUEY JIMÉNEZ, S. (**)

RESUMEN

Se estudia la fábrica de los suelos volcánicos de La Laguna (Tenerife) y se relaciona con su composición mineralógica. Los análisis de estructura y fábrica se realizan por medio de la microscopía óptica y electrónica de barrido, y se establecen los distintos tipos de fábrica que presentan estos suelos.

Se analizan los factores sedimentarios, ambientales y geoquímicos que condicionan la formación de la fábrica, así como las transformaciones postsedimentarias operadas en la misma.

ABSTRACT

The Fabric characteristics of the volcanic soils of La Laguna (Tenerife) are studied as well as their relationships with the mineralogical composition. Optical and scanning electron microscopy has been used to determine the different fabric group associations exhibited by these soils. The sedimentological, environmental and geochemical factors involved in the fabric formation processes has been considered as well as their postgenetic changes.

INTRODUCCIÓN

La fábrica constituye uno de los factores determinantes del comportamiento geotécnico de los suelos (empleando el término de "suelo" en su sentido geotécnico y no edafológico), y su importancia en la investigación sedimentológica, mineralógica y geotécnica ha sido puesta de manifiesto a través de los trabajos de CASAGRANDE, 1932; GRIM, 1968; LAMBE, 1953; MITCHELL, 1956; BARDEN, 1972 a y b, y 1973; ROWE, 1972; YONG y WAKENTIN, 1975, etc. Los principales factores que intervienen en la fábrica han sido estudiados por MITCHELL (1976), distinguiendo los que conforman la fábrica inicial de aquéllos que dan lugar a la fábrica final. Dichos factores son esencialmente los procesos ambientales y sedimentarios y las transformaciones físicas y químicas, entre las que se incluyen la consolidación y la diagénesis.

Los estudios realizados sobre las propiedades geotécnicas de los suelos volcánicos han revelado la necesidad de investigar detalladamente las características de su fábrica, ya que las hipótesis que tratan de explicar su peculiar comportamiento se basan precisamente en el conocimiento de la misma (TERZAGHI, 1958; WESLEY, 1973 a y b). Dentro de los estudios geotécnicos llevados a cabo sobre los suelos de La Laguna, la investigación de la fábrica ha sido, en efecto, uno de los factores decisivos en la interpretación de sus propiedades, presentándose en este trabajo los resultados obtenidos de dicha investigación.

Los suelos de La Laguna están situados entre la ciudad de La Laguna y el valle de Las Mercedes, en la isla de

Tenerife, formando un amplio depósito sedimentario cuya acumulación se debió al ser cerrado el primitivo barranco por coladas basálticas procedentes de volcanes cercanos. Las condiciones geológicas regionales han sido descritas por FÜSTER *et al.*, 1968 y por IGME *et al.*, 1977 a y b. Dichos suelos proceden de la meteorización de rocas, principalmente piroclásticas, y su deposición tuvo lugar bajo condiciones endorreicas, desarrollándose en la cuenca una laguna, la cual fue paulatinamente desecándose hasta tiempos históricos. Litológicamente los suelos considerados están formados por arcillas limosas de espesor variable comprendido entre 5 y 30 metros de potencia media. Mineralógicamente se han identificado tres facies bien definidas formadas por halositas, montmorillonitas, micas y sanidinas, respectivamente. Tanto las características litoestratigráficas como las mineralógicas han sido descritas por GONZÁLEZ DE VALLEJO *et al.*, 1979 a y b, constituyendo estos trabajos la base para la presente investigación.

ANÁLISIS DE LA FÁBRICA

Con criterios litoestratigráficos y mineralógicos se eligieron un número representativo de muestras procedentes de testigos de sondeos, las cuales fueron extraídas en estado prácticamente inalterado. De dichas muestras se prepararon láminas delgadas para la observación al microscopio óptico, preparación que requirió un cuidadoso proceso mediante impregnación con Bálamo de Canadá en caliente, logrando

(*) Empresa Nacional Adaro de Investigaciones Mineras, Serrano, 116, Madrid-6.

(**) Dpto. de Geología y Geoquímica, Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma de Madrid.

un material compacto no disgregable que permitió el tratamiento para la obtención de la lámina delgada. Para el estudio con microscopio electrónico de barrido (SEM) las muestras se dejaron secar en el medio ambiente y, posteriormente, con vacío creciente. Una vez secas se fracturaron y se tomó una de las superficies de fractura previamente cubierta con una capa de carbón-oro-carbón para su estudio al SEM.

El estudio al microscopio óptico permitió reconocer los principales componentes de la fábrica, constituidos por los siguientes elementos:

- Partículas o fragmentos de rocas y minerales de tamaño variable y de forma irregular.
- Partículas minerales de forma hojosa (micas) y tamaño variable.
- Partículas arcillosas con tendencia a la agrupación en laminaciones.
- Óxidos de Fe y otros iones indiferenciados.

En función del grado de movilidad de los citados componentes éstos pueden clasificarse en:

- Óxidos, con tendencia a formar agregaciones oolíticas.
- Arcillas, con tendencia a formar agregaciones de tipo esférico, pero no tan bien definidas como en las oolíticas.
- Detríticos, de comportamiento inerte o adaptándose a los anteriores.

Según el grado de disposición y ordenamiento los mencionados elementos pueden clasificarse en los siguientes grupos:

- Estructuras orientadas con predominio de silicatos laminares. Micas y arcillas que originan laminaciones muy características, pero de escaso desarrollo, ya que presentan poca continuidad y cambios bruscos de potencia, o bien con predominio de óxidos de Fe y partículas de difícil identificación originadas fundamentalmente por precipitación o floculación química y ausencia de partículas mayores, coincidiendo con fases de inactividad de los aportes extracuenca.
- Estructuras desorientadas caracterizadas por el predominio de granos detríticos dispersos en una matriz heterogénea limo/arcillosa, con presencia de gran número de huecos, en parte ocupados por óxidos de Fe que tiñen fuertemente al conjunto con tonalidades rojizas, ocras o pardo-amarillentas. Es típica de una fase de sedimentación de régimen turbulento.

Ambos tipos de estructuras, conservadas o transformadas como consecuencia de los procesos postsedimentarios que, en este caso han consistido fundamentalmente en la consolidación por el peso de recubrimientos, variaciones en el nivel freático y desecación de la laguna, y los procesos de sobreconsolidación acompañados por las modificaciones geológicas introducidas en el medio confinado, han dado lugar a los siguientes tipos de fábrica, siguiendo los términos propuestos por COLLINS y MCGOWAN (1974) y MITCHELL (1976):

1. Agregaciones regulares.
2. Agregaciones oolíticas.
3. Agregaciones entrelazadas.
4. Matriz arcillosa y matriz detrítica.

Las agregaciones regulares corresponden a conjuntos de arcilla de forma redondeada que, en parte, se adaptan a la morfología esférica, o bien toman formas nodulosas. En estas agregaciones el predominio de material arcilloso frente al detrítico es neto, la compactación es alta y los huecos escasos. Las agregaciones regulares son de origen sinagénico, observándose como, en general, la arcilla tiene una tendencia definida a adoptar este tipo de agregaciones (fotos 1 a y 1 b).

Las agregaciones oolíticas están formadas por grupos de agregados esféricos (foto 1 c), que pueden estar en contacto entre sí, dando un empaquetamiento denso, o bien en forma de nódulos aislados. En ocasiones estos oolitos presentan en su interior partículas orientadas (foto 1 d). Los tamaños observados varían entre 30 y 200 micras y, a veces, presentan también fenómenos de despegue (foto 1 e). Los oolitos están asociados a la presencia de óxidos de hierro y su corteza —de aspecto más duro que el interior— es muy rica en dichos óxidos.

Las agregaciones entrelazadas corresponden a una estructura formada por partículas o agregaciones de arcilla que, o bien se adaptan a elementos mayores con orientaciones de flujo, o toman formas típicas de regímenes laminares, dando origen a microlaminaciones (foto 1 f).

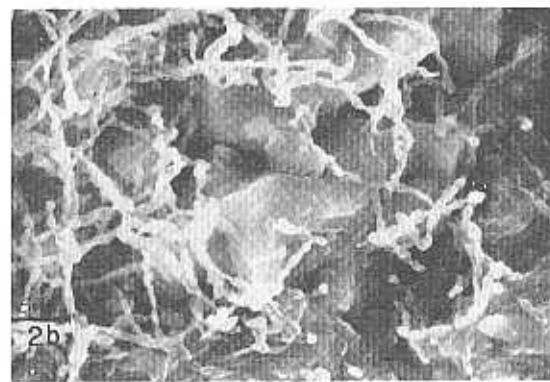
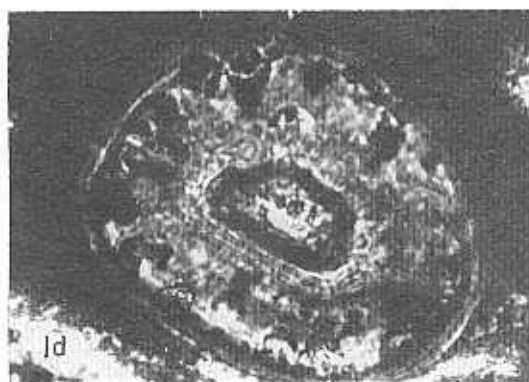
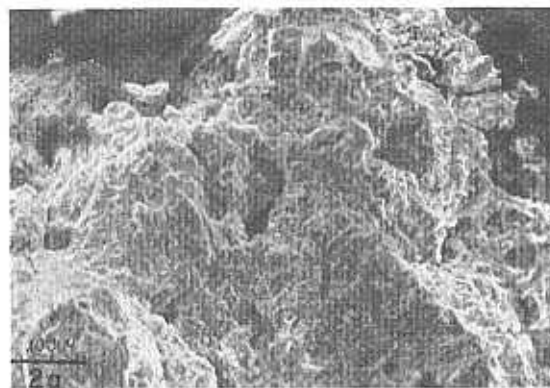
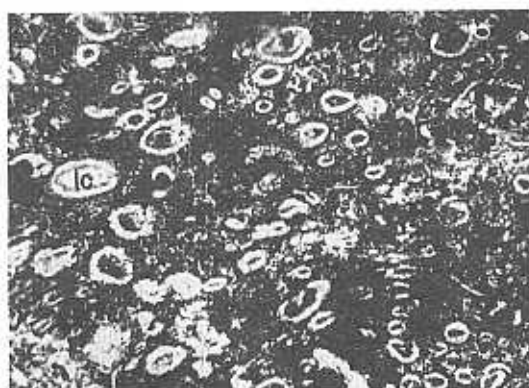
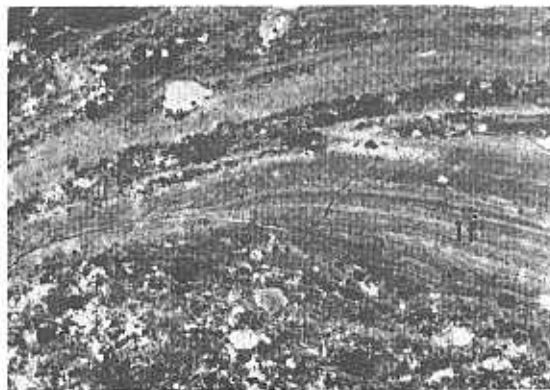
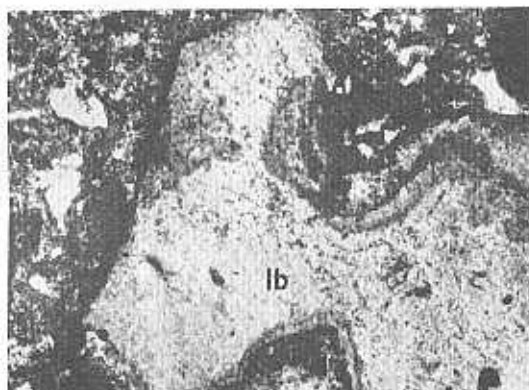
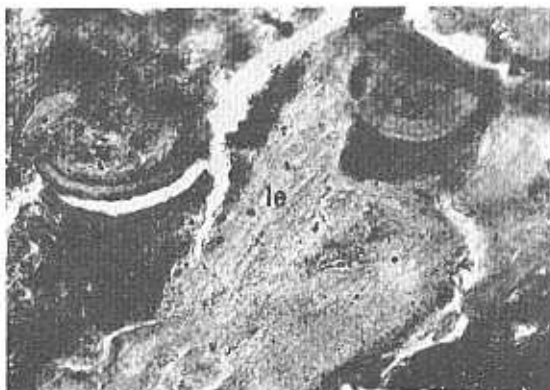
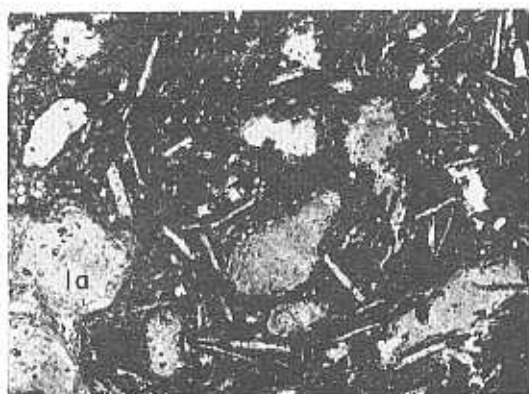
Las fábricas de matriz arcillosa y detrítica corresponden a las denominadas estructuras desordenadas en las que no es posible distinguir tendencias determinadas. En el primer caso la arcilla predomina con escasez de granos detríticos y la compactación es alta. En el segundo caso los elementos detríticos predominan, originando un empaquetamiento con gran número de huecos.

También se han identificado algunos elementos de claro signo postsedimentario y que frecuentemente aparecen en las citadas fábricas. Dichos elementos son las grietas y los fenómenos de flucción y precipitación. La flucción y la precipitación son debidas al relleno de las grietas y cavidades creadas principalmente por desecación y sustitución. La flucción estaría asociada a las primeras fases de la consolidación, mientras que la precipitación correspondería a una etapa posterior y propia de la desecación en la que se produciría la formación y relleno de las grietas por circulación de agua, existiendo entre ambos procesos una diferenciación tanto en el tiempo como en la profundidad.

Una vez realizado el análisis al microscopio óptico se procedió al estudio de la fábrica por medio del microscopio electrónico de barrido que, como se sabe, representa hoy día el medio más adecuado para este tipo de investigación. Sus grandes ventajas son la profundidad de campo y el amplio rango de magnificaciones con que puede observarse tridimensionalmente una muestra determinada. Las fábricas observadas al microscopio óptico fueron confirmadas al SEM, si bien las citadas ventajas permitieron llevar a cabo análisis de gran detalle, cuyos resultados han sido los siguientes:

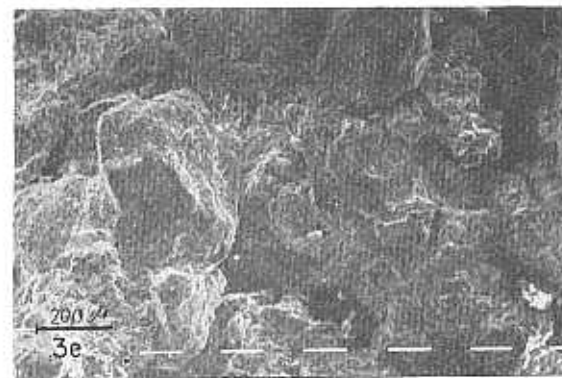
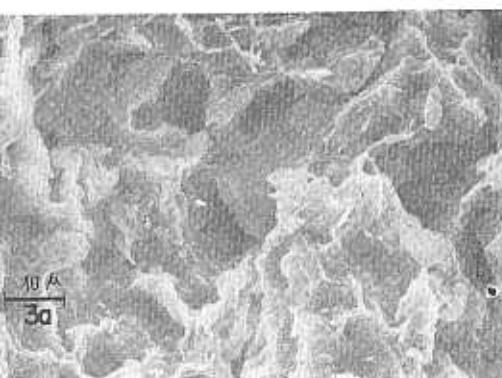
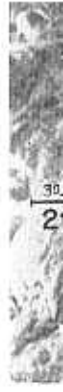
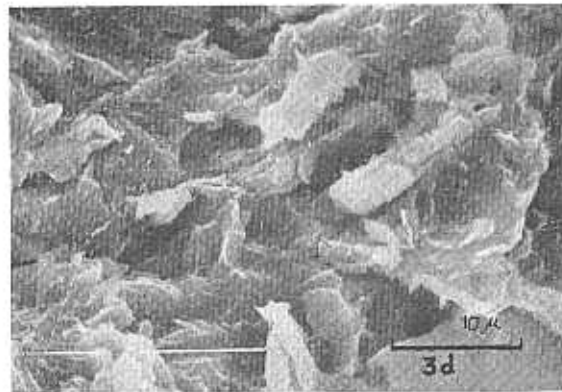
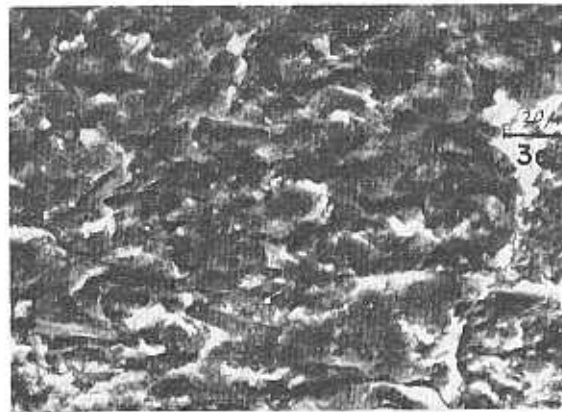
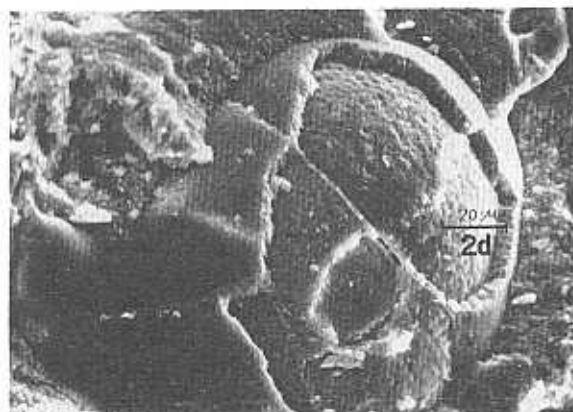
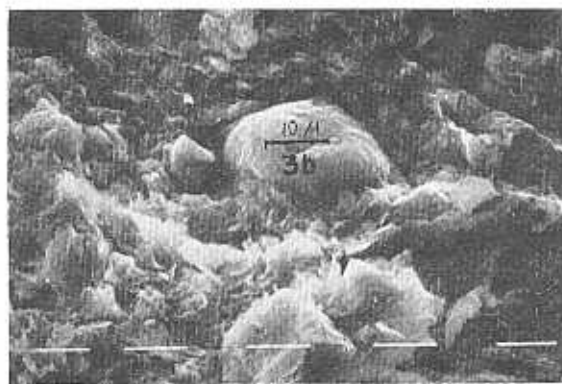
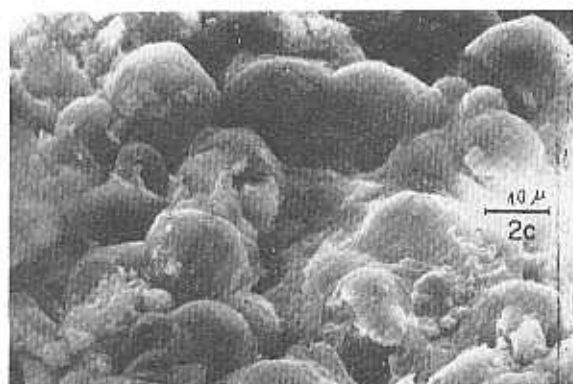
Las agregaciones regulares corresponden a un conjunto de partículas de arcilla con escasos cantos de tamaño limo que, en conjunto, constituyen una agregación de forma redondeada o subredondeada de tamaño superior a las 50 micras (foto 2 a). Las agregaciones se disponen en grupos que contienen pocos huecos interagregados, lo cual da lugar a un empaquetamiento muy denso. Sin embargo, se ha observado en detalle que la estructura interior de la agregación está formada por partículas que tienen una distribución floculada con contactos tipo borde a borde con abundantes poros (foto 2 b).

Las agregaciones oolíticas han sido observadas en forma de grupos de oolitos muy redondeados con disposición tetraédrica, que da lugar a un alto empaquetamiento (foto 2 c). Estos oolitos tienen un diámetro comprendido entre 20 a 30 micras, pero pueden alcanzar dimensiones que superan las 70 micras. Los oolitos se presentan unas veces directamente en contacto entre sí y, otras, separados por un recu-



LAMINA I

Fábricas observadas al microscopio óptico (NP), y al microscopio electrónico (SEM): (1a) y (1b) agregaciones regulares de arcilla con adaptación de partículas laminares; (1c) agregación oolítica; (1d) detalle de oolito; (1e) agregación oolítica con superficie de despegue; (1f) microlaminaciones. Microscopio electrónico: (2a) 160X agregaciones regulares; (2b) 2500X partículas flocculadas con contactos borde a borde en agregación regular.



LAMINA II

Fábricas observadas al microscopio electrónico: (2c) 1250X agregación colítica; (2d) 640X detalle de oolito; (2f) 320X agregación entrelazada; (3a) 1250X detalle de partículas en agregación entrelazada; (3b) 1250X adaptación de partículas en agregación entrelazada; (3c) 640X matriz arcillosa; (3d) 2500X disposición floculada y agregada con contactos borde a borde en matriz arcillosa; (3e) 640X matriz detrítica.

brimiento de arcilla. Su estructura responde a una superposición de capas concéntricas, siendo las externas las más duras (fotos 2 d y 2 e).

Las agregaciones entrelazadas presentan una estructura de tipo laminar con adaptación de las partículas de arcilla a granos de mayor tamaño. El aspecto es de elevada compacidad con pocos huecos interagregados (foto 2 f). Sin embargo, al observar estas agregaciones con detalle se aprecia la formación de bordes o rizaduras entre las cuales se intercalan espacios vacíos que proporcionan al conjunto una porosidad en cierto modo orientada transversalmente a las laminaciones (fotos 3 a y 3 b).



Fig. 1.—SEM (5000X). Detalle de oolito roto.

La matriz arcillosa consiste en una estructura compuesta fundamentalmente por arcilla con ausencia casi total de granos de limo o arena, su compacidad es elevada y no se observan orientaciones preferentes más que las meras adaptaciones a partículas mayores (foto 3 c). Presenta algunos poros de tamaño variable formados entre microagregados de arcilla. Estos microagregados se observaron en detalle y muestran una disposición entre sus partículas de tipo floculada y agregada con contactos borde a borde, así como poros interparticulares (foto 3 d).

La matriz detrítica está formada por grupos de partículas detríticas de tamaños variables, aunque generalmente superior a las 100 micras, con abundantes huecos intergranos, lo cual da a esta estructura un empaquetamiento más abierto que las anteriores (foto 3 e).

RELACIÓN ENTRE FÁBRICA Y COMPOSICIÓN MINERALÓGICA

Aunque la fábrica está relacionada fundamentalmente con las características de la sedimentación y los procesos post-sedimentarios, cabe suponer que la diferente morfología, así como los tamaños de las partículas de arcilla y su actividad geoquímica, en alguna manera deben estar relacionadas. Para su determinación, se procedió al análisis de las relaciones existentes entre la composición mineral y la posible fábrica asociada. Como hechos significativos merecen destacarse los siguientes:

1. Las fábricas constituidas por agregados entrelazados predominan en aquellos sedimentos donde la haloisita es el mineral más abundante. Este hecho puede justificarse por la morfología de las haloisitas, en las que dominan las formas globulares y, en mayor cantidad aún, las tubulares, juntamente con otros minerales arcillosos constituidos por micas degradadas que han perdido su laminación inicial y toman formas rugosas. Todo este

conjunto de glomérulos, fibras y láminas rugosas favorecen la formación de una marcada porosidad que se orienta preferentemente en dirección normal a la del flujo.

2. Las fábricas constituidas por matriz arcillosa se forman fundamentalmente en los sedimentos en donde las montmorillonitas son los minerales más abundantes. La alta compacidad de la estructura, con escasez de huecos y apariencia masiva, ponen de manifiesto una perfecta interpenetración entre las partículas constituyentes.

Aunque la montmorillonita es el mineral más característico, también son abundantes otros minerales micáceos y caolinitas. Cabe preguntarse si esta fábrica es una consecuencia directa de una sedimentación con escasa turbulencia que proporcionó estos acúmulos indiferenciados o bien, por tratarse de una facie con predominio montmorillonítico, se haya producido un reordenamiento geoquímico en el medio confinado. Este medio proporcionaría la estabilidad de la montmorillonita, la cual, dada su pequeño tamaño —normalmente inferior a 0,5 micras— se situaría entre los posibles huecos, originando así una estructura en apariencia muy compacta.

3. La fábrica constituida por agregaciones oolíticas se encuentra directamente relacionada con la presencia de óxidos de Fe que son muy abundantes en el medio sedimentario estudiado, y que se han formado a partir de la destrucción de los minerales ferromagnesianos, no obstante, se observa una mayor proporción de dichos oolitos, así como un tamaño mayor, en algunos casos del orden de 200 micras, en las facies con predominio de materiales micáceos, donde la actividad geoquímica es suficientemente intensa como para producir la lixiviación del Fe, pero que no alcanza a destruir estos minerales más resistentes como micas y feldespatos.

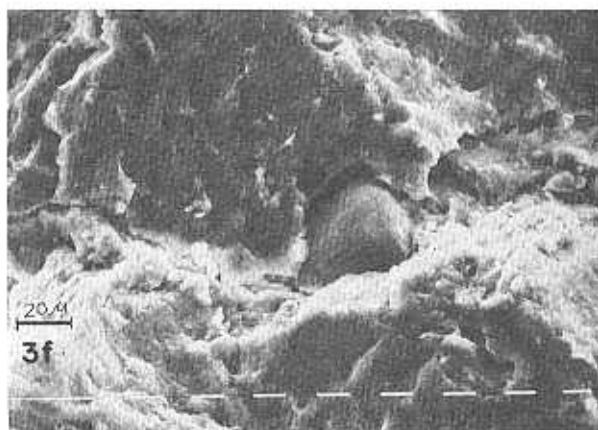


Fig. 2.—SEM (640X). Superficie de despegue.

La génesis de los oolitos parece producirse en los primeros estadios de la sedimentación, a partir del Fe disperso en los materiales arcillosos, que en función de su concentración tiene tendencia a organizarse en laminaciones y bandeados modificando la textura inicial de la arcilla y, cuando la proporción de geles es mayor, se favorece la formación de las concentraciones globulares.

4. Entre estos tipos de fábrica se encuentran otras con características menos definidas, resultantes de las modificaciones producidas por la presencia de partículas

de mayor tamaño, arenas o bien restos de fósiles, como diatomeas y vegetales. En conjunto, la presencia de partículas de gran tamaño en relación con los minerales arcillosos produce una matriz desordenada con peculiaridades propias del contacto con las partículas mayores en donde, con frecuencia, se observan fenómenos de despegue (foto 3 f, fig 2).

DISCUSIÓN DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES

De las observaciones realizadas tanto al microscopio óptico como al electrónico se deduce que los suelos estudiados presentan una tendencia generalizada a la formación de agregaciones de partículas con formas redondeadas. Cuando el medio es rico en óxidos de Fe se forman unas concreciones muy características denominadas oolitos, mientras que cuando la matriz es muy arcillosa la tendencia es a la agrupación en forma de agregaciones regulares. Tanto en los oolitos como en las agregaciones se alcanzan tamaños que llegan a las 200 micras.

Mientras las agregaciones regulares parecen formadas por grupos de partículas muy compactas, pero sin cementar, las agregaciones oolíticas están cementadas entre sí, predominando el óxido de Fe libre. Individualmente la corteza del oolito es muy dura con respecto a su interior.

Las denominadas agrupaciones entrelazadas presentan una orientación preferente a modo de líneas de flujo en las que las partículas más finas se agrupan en torno a las mayores. En general la compacidad de estas agrupaciones es alta. Sin embargo, existen grandes huecos entre los distintos agregados. En detalle, y a nivel de partículas individuales, la porosidad es elevada, con una disposición de dichas partículas en forma floculada con contactos borde a borde.

Los citados tipos de fábrica han reflejado la historia geológica del sedimento, tanto en sus procesos sinsedimentarios como los postsedimentarios, en donde se han manifestado estructuras típicas como las grietas y las superficies de despegue y los fenómenos de fluxión y precipitación. De la misma forma, se han puesto de manifiesto las relaciones existentes entre fábrica y composición mineralógica, reconociéndose claras asociaciones entre las distintas especies minerales predominantes en el suelo y las fábricas descritas.

Los resultados de esta investigación han contribuido decisivamente al estudio de las propiedades y comportamiento geotécnico de los suelos de La Laguna, demostrándose la estrecha relación existente entre sus propiedades geotécnicas y las características de la fábrica.

BIBLIOGRAFÍA

- BARDEN, L.
1972 a. The influence of structure on the formation and failure of clay soil, *Geotechnique*, 22, 159-163.
- 1972 b. The relation of soil structure to the engineering geology of clay soil, *9 Ql. Eng. Geol.*, 5, 85-102.
1973. Macro- and Microstructure of Soils, *Appen dix to the Proceeding of the International Symposium on Soil Structure, Gothenburg, Sweden*, 21-26.
- CASAGRANDE, A.
1932. The structure of Clay and its importance in Foundation Engineering. Contributions to Soil Mechanics, *Boston Society of Civil Engineers*, 1925-1940, 72-112.
- COLLINS, K. y MCGOWN, A.
1974. The form and function of Microfabric Features in a Variety of Natural Soils, *Geotechnique*, 24, núm. 2, 62-78.
- FÚSTER, J. M.; ARAÑA, V.; BRANDIE, J. L.; NAVARRO, M.; ALONSO, Y. y APARICIO, A.
1968. *Geología y Volcanología de las Islas Canarias*. Inst. Lucas Mallada, CSIC, Madrid, 158 págs.
- GONZÁLEZ DE VALLEJO, L.; MEDINA, J. A. y LEGUEY, S.
1979 a. Aspectos mineralógicos de los suelos volcánicos de Tenerife (Islas Canarias) y sus implicaciones geotécnicas. *4 th. Latin-American Geological Congress*. Trinidad and Tobago.
- GONZÁLEZ DE VALLEJO, L.; LEGUEY JIMÉNEZ, S. y MEDINA NÚÑEZ, J. A.
1979 b. Características mineralógicas de los suelos volcánicos de La Laguna (Tenerife). *Bol. Geol. y Minero*, tomo 90, fas. 2 (marzo-abril).
- GRIM, R. E.
1968. *Clay Mineralogy*, 2nd edition, McGraw-Hill, New York.
- IGME, ENADIMSA, CSIC Y UNIVERSIDAD COMPLUTENSE
1977 a. *Hoja de Santa Cruz de Tenerife (1104-I) 1:25.000, Serie Magna*.
- 1977 b. *Hoja de Tejina (1096-2) 1:25.000, Serie Magna*.
- LAMBE, T. W.
1953. *The structure of Inorganic Soil*, A. S. C. E. Separate No. 315, october.
- MITCHELL, J. K.
1956. The fabric of Natural Clays and its relation to Engineering Properties, *Proceeding of the Highway Research Board*, 35, 693-713.
1976. *Fundamentals of Soil Behaviour*, Series in Soil Engineering, 422 págs. John Wiley and Sons Inc., New York.
- ROWE, P. W.
1972. The relevance of Soil fabric to site Investigation Practice, *Geotechnique*, 22, 195-300.
- TERZAGHI, K.
1958. Design and Performance of the Sasumua Dam, *Proc. Inst. Civil Engrs.*, 9, 369-394.
- WESLEY, L. D.
1973 a. Cluster hypothesis and the shear strength of a tropical red clay, *Geotechnique*, 23, 109-113.
- 1973 b. Some engineering properties of halloysite and allophane clays in Java, Indonesia, *Geotechnique*, 23, 471-494.
- YONG, R. N. y WARKENTIN, B. P.
1975. *Soil properties and Behaviour*, Elsevier, New York, Amsterdam, 443 págs.

Recibido el 3 de abril de 1979.