

## ESTIMACION DE LA MOVILIDAD POTENCIAL DE LA ARCILLA MEDIANTE ELECTROULTRAFILTRACION Y SU IMPORTANCIA EN GENESIS DE SUELOS

R. J. Ballesta\*, y J. A. Díez\*\*

\* *Dpto. Química Agrícola, Geología y Geoquímica U. A. Madrid.*

\*\* *Centro de Ciencias Medioambientales de Madrid. CSIC. Serrano, 115. 28006. Madrid.*

### RESUMEN

El objeto del presente trabajo es aportar nuevos datos acerca del proceso iluvial de la arcilla para un mejor conocimiento del mismo así como de su importancia frente a otros mecanismos. Para ello, se ha caracterizado la movilidad potencial de la arcilla mediante su fraccionamiento por la técnica de electroultrafiltración en muestras de 5 perfiles de suelos de la cuenca de Madrid.

La aplicación de la EUF permitió obtener 3 fracciones predominantemente arcillosas, cuyos componentes fueron identificados mediante DRX.

Los resultados obtenidos permiten concluir que generalmente no existen diferencias apreciables en cuanto al tipo de arcilla entre los horizontes de pérdida y ganancia de la misma. Por otra parte, se observan diferentes grados de movilidad potencial. Se sugiere que además del proceso iluvial intervienen otros mecanismos edafogénicos y que dicho proceso ha actuado con diferente intensidad según los casos.

Palabras clave: Movilidad, arcilla, EUF.

### SUMMARY

#### ESTIMATION OF POTENTIAL MOBILITY OF CLAY THROUGH ELECTROULTRAFILTRATION (EUF) AND ITS IMPORTANCE IN SOIL GENESIS

The aim of this work is to provide new data on the illuvial process of clay for a better knowledge thereof, as well as its importance with respect to other mechanisms. This is why, the potential mobility of clay has been characterized by fractionation through the electroultrafiltration technique in samples of 5 profiles of soils from the Madrid basin.

EUF application enabled 3 fractions to be obtained, mainly clayed, which components were identified through DRX.

The results obtained enable the conclusion to be made that generally, there are not significant differences in the kind of clay between the loss and profit horizons. Moreover, different potential mobility degrees were observed. It is suggested that other pedological mechanisms are participating beside the illuvial process. This process acts with a different intensity according to the cases.

Key words: Mobility, clay, EUF.

## INTRODUCCION

En los suelos que presentan contraste textural, de tal manera que bajo un horizonte eluvial se encuentra otro iluvial, cabe considerar, en principio, que dichos horizontes se han generado por pérdida y ganancia de arcilla, respectivamente. De hecho, en los estudios iniciales sobre este tema se adscribía al movimiento de arcilla el origen del mismo. Con posterioridad se ha puesto de manifiesto la importancia de otros procesos como la alteración "in situ", la pérdida selectiva por erosión de arcilla, etc.

En las regiones mediterráneas los fenómenos de erosión y arrastre superficial son relativamente comunes, como prueba la existencia de "stone line" detectables frecuentemente en los perfiles de los suelos. De este modo se ha sugerido la posibilidad de que los horizontes argílicos y sus correspondientes horizontes superficiales se formen por acción o efecto de capas sedimentarias distintivas (Green, 1966; Oerte, 1974). Concretamente en Australia, Bishop *et al.* (1980) consideran que el movimiento de los materiales arenosos sobre los arcillosos a lo largo de la pendiente, es el verdadero origen del contraste. En este mismo sentido se manifiestan Thompson y Paton (1980).

Para abordar el estudio de la movilización y acumulación de arcilla, se han utilizado diversas técnicas, pero hasta el momento desconocemos que se haya hecho uso de la técnica de Electroultrafiltración (EUF), como método de apoyo, para evaluar el origen de los horizontes argílicos frente a los horizontes superficiales de pérdida en arcilla.

Previamente, la utilización de la EUF ha permitido resolver numerosos problemas planteados fundamentalmente en lo que se refiere a aspectos relacionados con la dinámica de nutrientes. Sólo recientemente Díez *et al.* (1987) han desarrollado una metodología que permite evaluar el contenido de arcilla y caracterizar sus componentes por medio de esta técnica, obteniendo resultados muy satisfactorios, coincidentes con las determinaciones por DRX.

Aunque los medios en los que se forman algunos de los suelos con contraste textural de la región de Madrid (concretamente en arcosas y terrazas de ríos) son favorables respecto de la hipótesis de un origen del contraste textural como consecuencia de la movilización y acumulación de arcilla, lo cierto es que con frecuencia se encuentran límites abruptos entre dichos horizontes, por lo que cabe pensar en la intervención de otros procesos. Aunque resulta difícil conocer los controles de la dispersión y posterior acumulación, es evidente que cuando la arcilla migra, previamente debe dispersarse, en cuyo caso su carga debe desempeñar un importante papel, (Herbillon, 1981). La magnitud de esta carga será función de los minerales presentes, aunque también del pH de la suspensión, (Gillman *et al.*, 1976; Eswaran *et al.*, 1979). En consecuencia toda medida indirecta de la carga, será útil desde el punto de vista de la movilidad potencial de la arcilla. Como con la técnica de EUF se extraen distintas fracciones cuando se actúa a

diferentes potenciales, al ser dichas fracciones función de la carga, indicarán con cierta aproximación, la aptitud de la arcilla para movilizarse.

El objetivo del presente trabajo es abordar precisamente el estudio de la movilidad potencial de la arcilla

en suelos de la cuenca de Madrid, utilizando para ello la técnica de EUF. Consecuentemente este trabajo se entronca en la problemática de la génesis de horizontes argílicos y también en la génesis de suelos con contraste textural.

## MATERIAL Y METODOS

Las coberturas edáficas aquí analizadas son fundamentalmente Alfisoles y en algún caso Inceptisoles todos con contraste textural, esto es que entre los horizontes superficiales y los subsuperficiales existe un incremento de arcilla y consecuentemente de plasticidad y capacidad de cambio, y disminución de porosidad, etc. En los horizontes B existen revestimientos de arcilla en las caras de los agregados, por lo que según las estimaciones de campo existe iluviación de arcilla. Son suelos situados en formaciones geomorfológicas planas, normalmente profundos, con un perfil de tipo A-Bt-C y marcado contraste textural-estructural justo donde existe un contraste brusco o neto.

Tras separar la arcilla por sedimentación, se realizaron los diagramas de DRX, tanto de muestras orientadas en agua (A. O.), como de muestras homoiónicas saturadas en Mg y solvatadas con glicerina así como en muestras potásicas calcinadas a 300 °C y 550 °C. Se utilizó un generador y difractor de rayos X Philips con tubo de Cu, operando a 40 Kv, 20 mA, filtro de Ni, multiplicación 16 x 1, ranura de recepción 0,3 mm, ranura de dispersión 1°/mín. y constante de tiempo 4 o 2 segundos según casos.

En la estimación semicuantitativa se han tenido en cuenta los poderes reflectantes de Schultz, (1964).

La técnica de E.U.F. se basa en un proceso de electrodiálisis, combinado con ultrafiltración que mediante un programa de potenciales, tiempos y temperaturas aplicados a una suspensión acuosa del suelo nos puede informar sobre el tipo y cantidad de minerales de arcilla, unido o no al análisis por difracción de rayos X. El fundamento consiste básicamente en que cuando se aplica el efecto de un potencial eléctrico a una suspensión del suelo, los aniones migran hacia el ánodo y los cationes hacia el cátodo. Los minerales de la arcilla cargados negativamente, emigran al ánodo, donde toman H<sup>+</sup> y se depositan en el filtro.

Para el desarrollo del trabajo se probaron diferentes programas de EUF con objeto de seleccionar aquel que permitiera un fraccionamiento más claro de las arcillas presentes en las muestras de suelo, aún reconociendo las diferencias con las condiciones naturales de movilidad de la arcilla. El tiempo empleado en cada fracción está relacionado con la obtención de cantidad suficiente de arcilla para su posterior identificación mediante DRX. Como

consecuencia de este estudio se estableció el siguiente programa:

fracción I: 200 V 20 °C 50 mA  
15 min.

fracción II: 400 V 80 °C 150 mA  
10 min.

## RESULTADOS

### *PERFIL II Muestras M-367, M-368, M-369 (hor. Bt-A2-Bt)*

Los difractogramas de estas muestras se pueden observar en las figuras 1 y 2. En la muestra M-367 (horizonte Bt) del polvo desorientado se detectan minerales del tipo 2:1, micas (10.0 Å) y caolinitas (7.2 Å). La esmectita es mayoritaria en las fracciones 367-F1 y 367-F2 (Fig. 1), pero no hay diferencias cualitativas, cuantitativas ni grado de ordenamiento. Llama la atención la baja intensidad de las bandas, en la fracción 367-FR; la esmectita no dá lugar a un máximo sino a una amplia banda, en contraste con las otras dos fracciones.

En la muestra M-368, la línea 060 dá lugar a una banda alrededor de 1.49 Å que indica que se trata de minerales dioctaédricos. La banda entre 5 y 8 ( $2\theta$ ) del polvo desorientado se resuelve en una amplia de difracción con máximo a 17.6 Å en el A. O. homoionizado con magnesio y tratado con glicerina (Fig. 2). La proporción de esmectita dioctaédrica es aproximadamente 35%, de mica dioctaédrica 50% y de caolinita 15%. No podemos determinar son más montmorilloníticos o más beidellíticos, en cambio puede descartarse que sean trioctaédricos. Se trata de minerales de 14 Å de natu-

raleza hinchable, (Fig. 2), pues expanden con el tratamiento de glicerina y contraen hacia 10 Å (reforzando la intensidad de la línea de la mica) al tratar a 300 °C. En los diagramas de los A. O. de M-368-F1 y M-368-F2, (Fig. 1) las reflexiones son de escasa intensidad. Existe mica y caolinita e indicios de esmectita.

La muestra M-369, horizonte Bt, corresponde a un material con abundantes minerales laminares (filosilicatos laminares dioctaédricos). Cabe destacar, que la banda alrededor de 14 Å se resuelve en un efecto claro, con máximo definido alrededor de 17.6 Å tras el tratamiento con glicerina (Fig. 2) que confirma la presencia de minerales hinchables. En ambos casos, acompañando a esta esmectita existen minerales micáceos dioctaédricos y minerales caoliniticos. Entre las muestras 369-F1, 369-F2 y 369-FR (Fig. 1) no existen diferencias en cuanto a contenido, tipo de minerales ni cristalinidad.

La muestra M-369, horizonte Bt, corresponde a un material con abundantes minerales laminares (filosilicatos laminares dioctaédricos). Cabe destacar, que la banda alrededor de 14 Å se resuelve en un efecto claro, con máximo definido alrededor de 17.6 Å tras el tratamiento con glicerina (Fig. 2) que confirma la presencia de minerales hinchables. En ambos casos, acompañando a esta esmectita existen minerales micáceos dioctaédricos y minerales caoliniticos. Entre las muestras 369-F1, 369-F2 y 369-FR (Fig. 1) no existen diferencias en cuanto a contenido, tipo de minerales ni cristalinidad.

### *PERFIL III Muestras M-370 y M-371 (hor. A2 - Bt)*

Respecto de la muestra M-370 (horizonte A2), en el diagrama de polvo de arcilla fina (Fig. 3), el mineral mayoritario es mica, cuya reflexión (001) a 10 Å es casi una

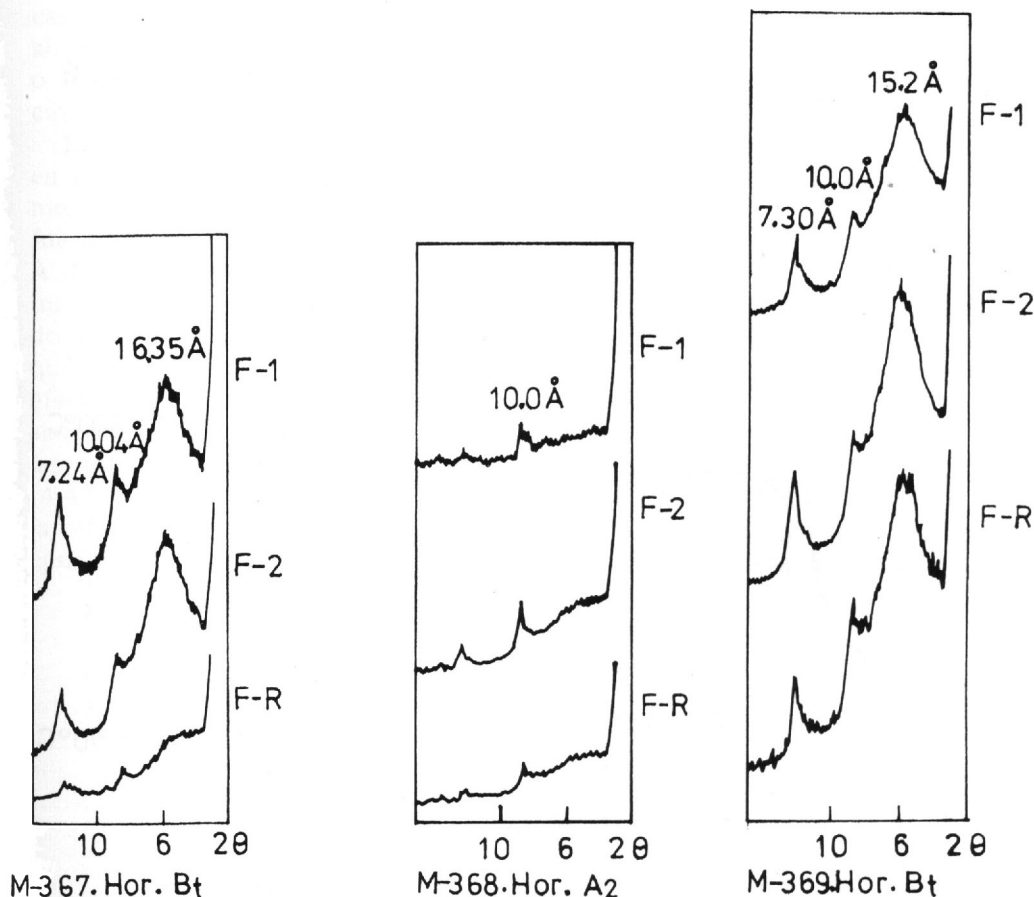


FIG. 1.—Difractogramas de los horizontes del perfil II (muestras M-367; M-368 y M-369) en A. O. (agregados orientados y fraccionados por EUF).

banda que se prolonga hacia ángulos bajos. Aparecen las reflexiones basales de 2.º y 3.º orden de esta mica (5, 3.3 Å) y se detecta la existencia de caolinita por los efectos a 7.2 y 3.57 Å, aunque este último es casi un hombro de la banda de 3.33 Å. Sin embargo, en los A. O. 370-F1 y 370-F2, especialmente en el primero de ellos, el efecto de 10 Å que en el

polvo desorientado parecía indicar una mica profundamente alterada y con una fuerte cantidad de láminas posiblemente hinchables y de un mineral de 16 Å no hinchable (vermiculita), se resuelve en un máximo muy bien definido y ligeramente asimétrico hacia la derecha a 10 Å (001) y 5 Å (002). La banda entre 5 - 8 ( $2\theta$ ) del polvo desorientado

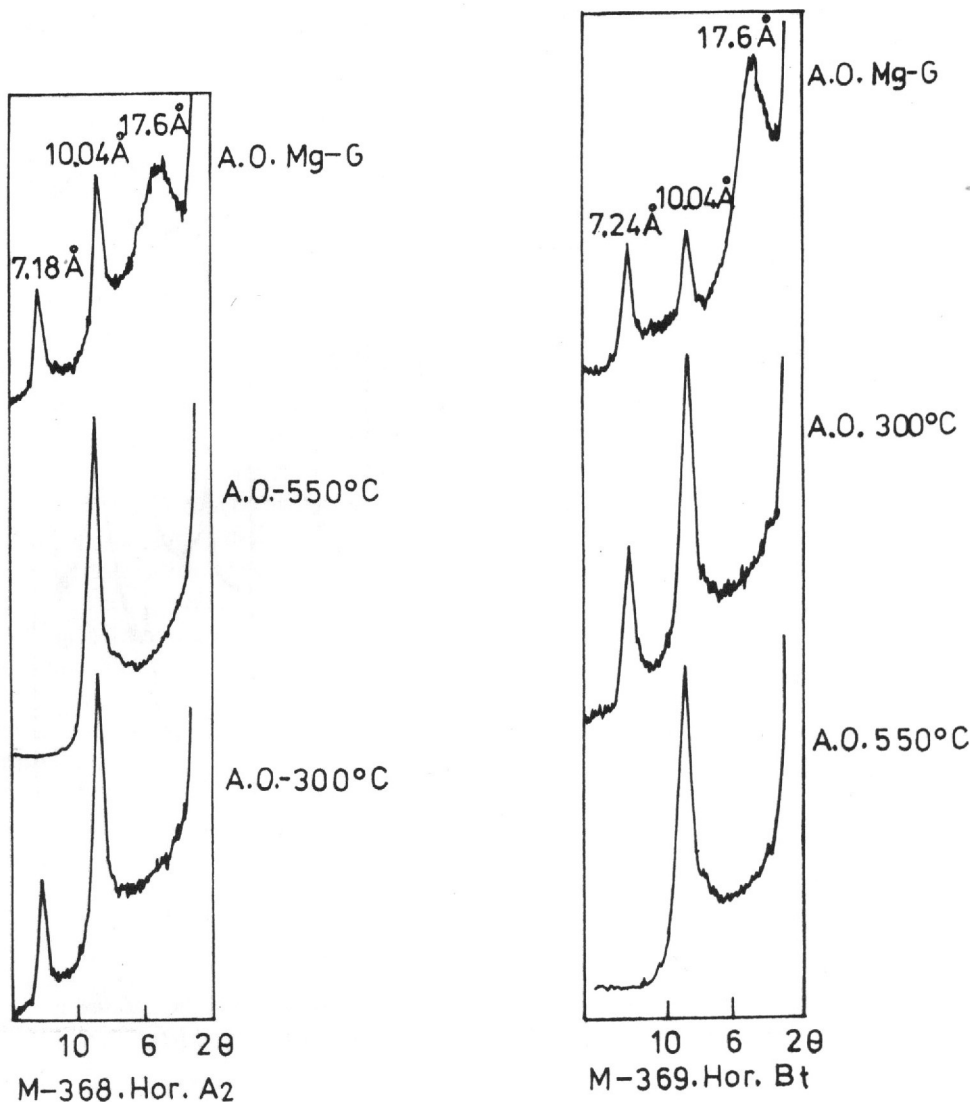


FIG. 2.—Difractogramas de las muestras M-368 y M-369 (perfil II) de A. O. - Mg y tratado con glicerina, y A. O. - K a 300 °C y 550 °C.

(Fig. 3) dá lugar a un pequeño máximo diferenciado, muy amplio, a 14.7 Å mejor definido en 370-F1 que en 370-F2, atribuible a una esmectita. El segundo mineral laminar en importancia cuantitativa corresponde a caolinita, con un máxi-

mo a 7.2 Å. Las diferencias entre 370-F1 y 370-F2, no son significativas. En cuanto a 370-FR, ésta es la menos esmectítica de las tres fracciones y por el contrario la más micácea. En consecuencia el tratamiento seguido por EUF ha movilizad

casi toda la esmectita y ha dejado abundante mica. La caolinita es más o menos la misma en las tres fracciones.

La muestra M-371 (horizonte Bt), en su fracción arcilla fina es fundamentalmente esmectítica, con un fuerte máximo, aunque ancho a 14.7 Å. Existen además micas (10 Å) con un máximo parcialmente enmascarado por la existencia de esmectitas que le hacen asimétrico y con un efecto a 7.1 Å de caolinita bastante simétrico (Fig. 3). Existen además las reflexiones no basales habituales (4.43, 2.57 Å). En 371-F1 y 371-F2 la relación mica/caolinita permanece casi constante, es decir, se movería

más o menos igual, sin embargo, hay un mayor contenido en esmectita en 371-F1 que en 371-F2. En 371-FR, la esmectita es mayoritaria (> 50%) frente a mica y caolinita.

*PERFIL IV Muestras M-372, M-373, M-374 (hor. A2 - B<sub>t</sub> - B<sub>t</sub> C)*

Los difractogramas de estas muestras aparecen en la Fig. 4. Estas tres muestras son fundamentalmente caoliniticas, con proporciones pequeñas de mica e indicios de esmectitas. Las proporciones de caolinitas superan el 80%. La caolinita aparece en todos los difractogramas, (Fig. 4), con unos máximos de reflexiones

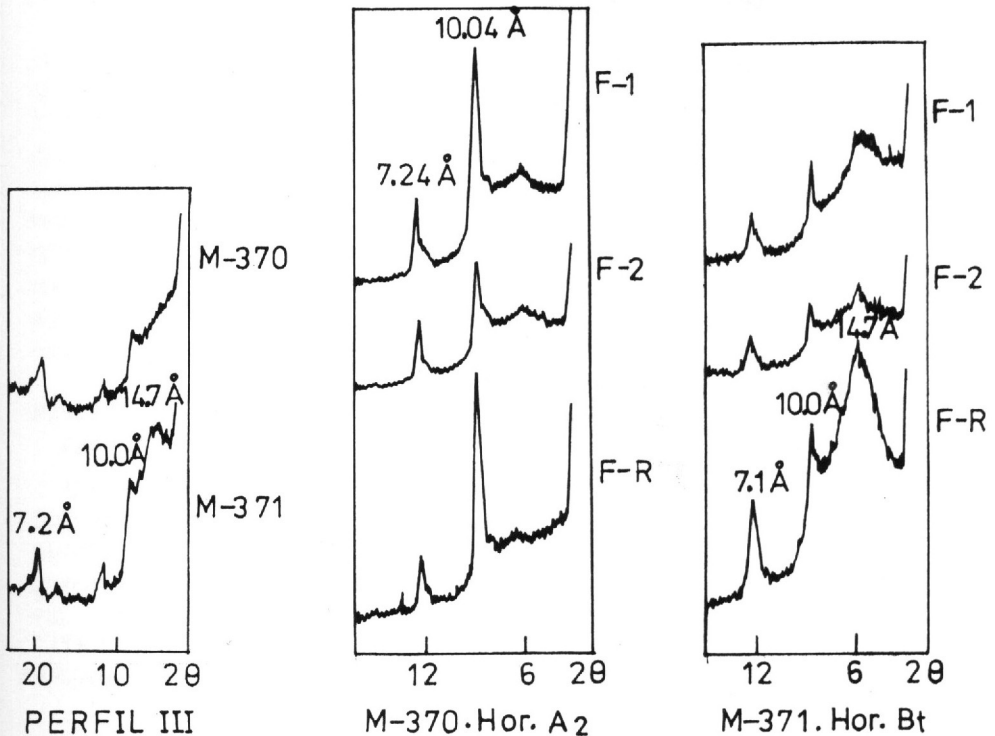


FIG. 3.—Difractogramas de las muestras M-370 y M-371 del perfil III de A. O. y fraccionadas por EUF.

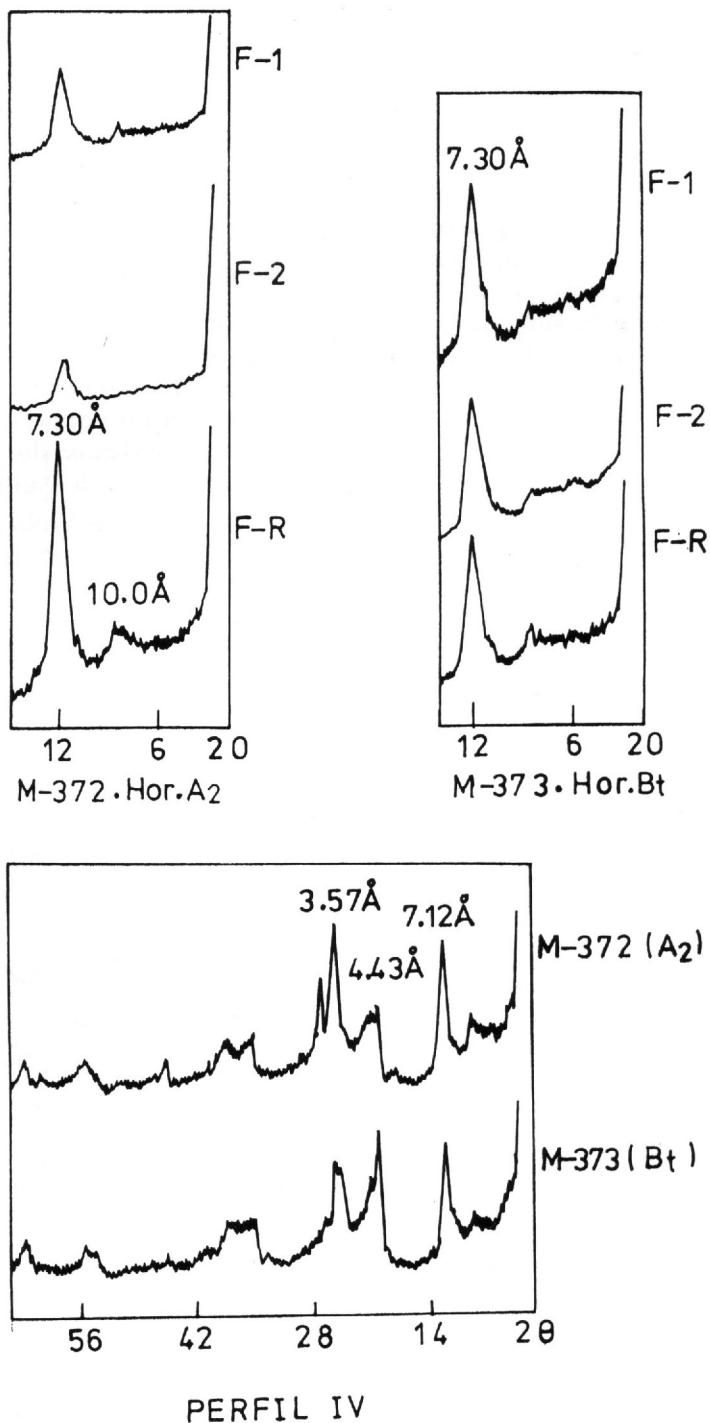


FIG. 4.—Difractogramas de las muestras M-372 y M-373 (perfil IV) de polvo desorientado y de las A. O. de las muestras fraccionadas por EUF.



basales (001) a 7.1 Å simétricos, intensos y bien definidos. En el polvo de arcilla fina M-373 y en el A. O. de M-373-FR (Fig. 4) aparece un claro efecto a 4.4 Å que podría indicar la presencia de algo de halosita junto a caolinita. Estaría a favor de esta hipótesis el hecho de que se observe este efecto a 4.4 Å en A. O. y la fuerte intensidad en polvo. En contra estaría el hecho de que el efecto de 10 Å deba atribuirse a micas. Sin embargo las micas son escasas y muy deterioradas con un máximo alrededor de 10 Å que se prolonga en una banda hacia ángulos menores. Es posible que existan esmectitas. En estas muestras se ve muy claro el efecto a 1.48 Å de la reflexión (060).

En el A. O. de M-372, el único mineral que aparece es caolinita. Quizá al pasar de los A. O. de 372-F1 a los A. O. de 372-F2 se produzca un empobrecimiento de mica y esa posible esmectita y por tanto un enriquecimiento en caolinita. Pero hay muy poca variación cuantitativa y cualitativa entre las distintas muestras y las fracciones extraídas de cada una de ellas.

#### *PERFIL VI Muestras M-378 y M-379 (hor. A2 - Bt)*

En las muestras de A. O. de las fracciones obtenidas por EUF de la M-378, (horizonte A2) (Fig. 5), no parecen existir diferencias cualitativas entre las distintas fracciones (378-F1, 378-F2 y 378-FR). Las diferencias pueden atribuirse a erro-

res del método utilizado. Tampoco se observan variaciones importantes entre las muestras de A. O. de las fracciones de EUF de la muestra M-379 (horizonte Bt); siguen existiendo los mismos minerales (esmectitas, micas y caolinitas) que en la M-378 y en proporciones similares. Entre 279-F2 y 378-F2 no se aprecian diferencias cualitativas ni cuantitativas. Las fracciones arcilla fina son muy similares.

#### *PERFIL VII Muestras M-380 y M-381 (hor. A2 - Bt)*

Los difractogramas de estas muestras aparecen en la Fig. 6. La M-381, presenta líneas características a 16.9, 8.4 y 5.6 Å (estos dos últimos son bandas). En ambas muestras M-380 y M-381 se produce su desplazamiento de la reflexión (001), aunque en principio podría pensarse en alguna diferencia entre las esmectitas de ambas muestras. Creemos que se trata de un mineral composicionalmente muy similar, 16.3 Å corresponde a 4-5°, y en esa zona de los difractogramas cualquier variación de lectura (1 cm. corresponde a 2°) provoca diferencias en Å espectaculares. La presencia de minerales caoliníticos queda confirmada por la persistencia del efecto alrededor de 7.1 Å en los A. O. calentados a 300 °C y su desaparición cuando se calienta a 550 °C. Las fracciones obtenidas por aplicación de la EUF apuntan hacia una gran similitud dentro de un mismo horizonte y también entre ambos horizontes.

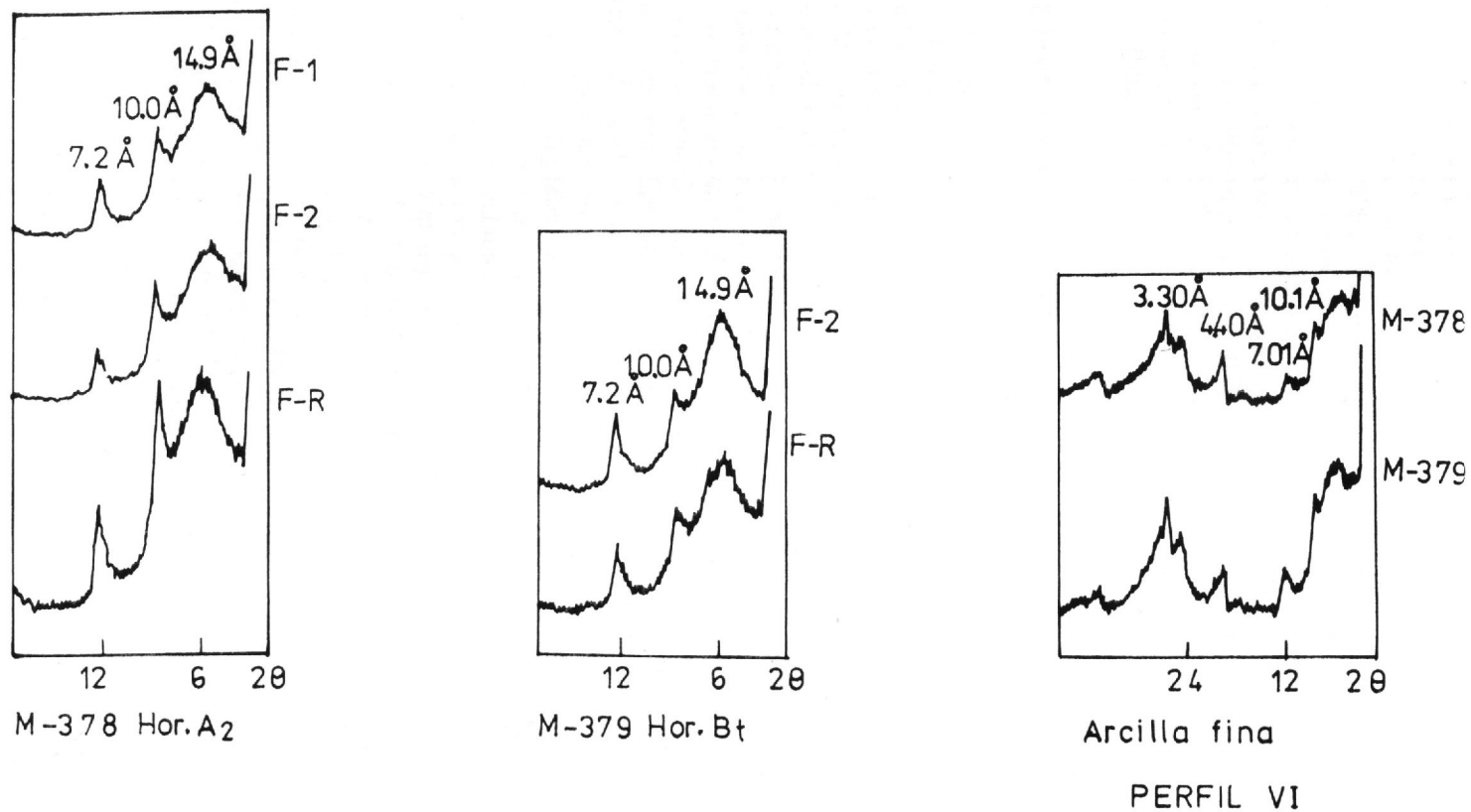


FIG. 5.—Difractogramas de los A. O. de las muestras M-378 y M-379 (perfil VI) fraccionadas por EUF y de la arcilla fina en polvo desorientado.

## PERFIL VII

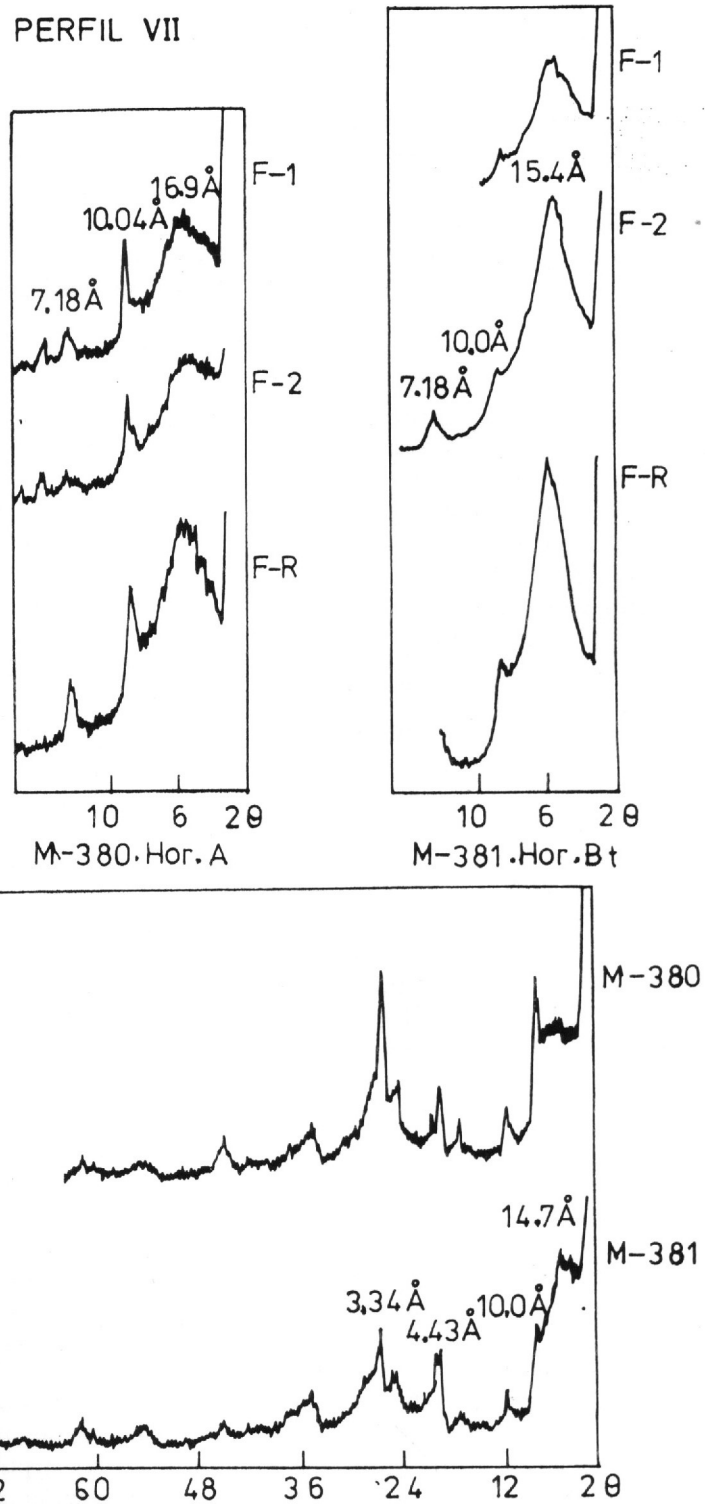


FIG. 6.—Difractogramas de los A. O. de las muestras M-380 y M-381 (perfil VII) fraccionadas por EUF y de la arcilla fina en polvo desorientado.

## DISCUSION GENERAL

Del estudio mineralógico de la arcilla en los perfiles analizados se deduce que en general aparecen proporciones variables de minerales micáceos, caoliníticos y esmectíticos. La caolinita, permanece sensiblemente constante en las distintas fracciones obtenidas por EUF de cada una de las muestras, aunque en algún caso se observa un enriquecimiento en caolinita en la fracción F2 o FR. Consecuentemente la caolinita presenta una movilidad potencial similar, tanto en los horizontes de pérdida como en los de ganancia. Por tanto puede apuntarse, que una fracción de arcilla del horizonte de enriquecimiento sea iluvial.

Por otra parte, cabe destacar que frecuentemente la reflexión a 10 Å aparece menos abierta hacia ángulos bajos en las fracciones F2 comparada con las F1, y en la FR con respecto a la F2. Si se acepta que esta asimetría de efecto de difracción debido a la reflexión (001), se debe a la existencia de láminas de un mineral generalmente hinchable, podría pensarse que el tratamiento por EUF afecta preferentemente a las micas con este tipo de láminas, que en cierto modo serían interestratificados.

En lo que se refiere al perfil II en el horizonte Bt superior se pone de manifiesto la movilidad potencial de mica, caolinita y esmectita. Sólo quedan en la fracción FR trazas de estas arcillas, luego posiblemente gran parte de la arcilla tiene un origen iluvial. En el horizonte inferior eluvial (A2), los difractogramas de las distintas fracciones son muy pobres; únicamente se detecta la

presencia de micas, mientras en la fracción arcilla de la muestra total si se presentaban caolinitas y esmectitas. Puede no obstante apuntarse que persiste una banda ancha (alrededor de  $6\theta$ ) en las fracciones FR y F2, lo que sugiere la presencia de arcilla poco móvil en este horizonte que probablemente sería esmectítica. En el horizonte Bt inferior, no se observan diferencias ni cuali ni cuantitativas en las distintas fracciones; coexisten arcillas con diferente aptitud de movilidad. En este caso podría interpretarse la existencia conjunta de arcilla tanto iluvial como generada "in situ", heredada, etc. De este modo la iluviación aunque sería un proceso potencialmente activo, puede haber actuado conjuntamente con otros procesos.

En el perfil III, las arcillas de las fracciones F1 y F2 del horizonte eluvial son similares, mientras la FR apenas presenta esmectita en comparación con las anteriores, por tanto la esmectita tiene aquí mayor aptitud móvil, que caolinita y mica. En el horizonte de ganancia del conjunto de esmectitas presentes una fracción es móvil, y otra tiene baja movilidad, lo cual permite interpretar que la génesis de arcilla en el horizonte iluvial es debida por una parte a un proceso iluviación y en parte a otros mecanismos.

En el perfil IV, predominantemente caolinítico, existe arcilla móvil en el horizonte eluvial; el iluvial presenta en todas las fracciones F1, F2 y FR, cantidades apreciables de arcilla caolinítica. En este perfil el horizonte de enriquecimiento puede haberse generado por iluviación, aunque pue-

den haber intervenido otros importantes mecanismos.

En el perfil VI no se detectan diferencias apreciables entre las distintas fracciones ni entre los diferentes horizontes. Tanto la caolinita, mica como esmectita presentan fracciones móviles e inmóviles, por lo

que se puede sugerir un origen diverso. De igual modo en el perfil VII puede interpretarse la coexistencia de procesos iluviales y no iluviales, si bien deben preponderar estos frente a la génesis de arcilla iluvial, dado que prevalece gran parte de la arcilla esmectítica en la fracción FR.

## CONCLUSIONES

Aunque los datos aportados pueden considerarse tentativos ya que la arcilla obtenida en las diferentes fracciones por EUF, se ha movilizó por efecto de un potencial muy diferente en relación a las condiciones naturales del suelo, podemos sacar las siguientes conclusiones:

1. La aplicación de la EUF a muestras de horizontes texturalmente contrastados, permite señalar que en general existe arcilla con aptitud potencial móvil, tanto en los horizontes eluviales como en los iluviales.

2. Por EUF tanto micas, caolinitas como esmectitas presentan movilidad aunque como es de esperar, estas últimas lo hacen en mayor grado.

3. El hecho de encontrar diferentes grados de movilidad potencial en la arcilla y de que no exista variación significativa desde el punto de vista tipológico entre los horizontes texturalmente contrastados, puede considerarse síntoma de que el proceso iluvial ha intervenido de una manera general en la génesis del contraste textural.

4. El proceso iluvial no ha debido intervenir con igual intensidad en todos los suelos, habida cuenta de que los horizontes de los perfiles analizados tienen distinto porcentaje de arcilla y que esta presenta diversos grados de movilidad. No obstante, parece evidente que a pesar del límite abrupto entre los horizontes, existe filiación de los mismos.

## BIBLIOGRAFIA

- BISHOP, P., MITCHELL, P. and PATON, T., 1980. The formation of duplex soils in hill slopes in the Sidney basin. Australia. *Geoderma*, 23: 489-499.
- SCHULTZ, L. G., 1964. Cuantitative interpretation of mineralogical composition from X-ray and chemical data for the Pierre Shale. U. S. Geol. Surv. Prof. Paper 391-c: C1-C31.
- DIEZ, J. A., MIFSUD, A. and GALLEGO, M. T., 1987. Assesment of soils clay components by electroultrafiltration. *Agrochimica*, 31: 355-366.
- ESWARAN, H. and SYS, C., 1979. Argillic horizon in LAC soils: formation and significance to classification. *Pedologie*, 29: 175-190.

- GILLMAN, G. P. and BELL, L. C., 1976. Surface charge characteristics of six weathered soils from tropical N. Queensland. *Aust. J. Soil Res.*, 14: 351-360.
- GREEN, P., 1966. Mineralogical and weathering study of a Red Brown Earth formed on granodiorite. *Aust. J. Soil Res.*, 4: 181-197.
- HERBILLON, A. J., 1981. Degree of weathering and surface properties of clays. In: "Characterization of soils in relation to their classification and management for Crop Production" (Ed. D. Greenland). Oxford Univ. Press.
- OERTEL, A. C., 1974. The development of a typical red-brown-earth. *Aust. J. Soil Res.*, 12: 97-105.
- THOMPSON, C. H. and PATON, T. R., 1980. Texture differentiation in soils on hillslopes, south-eastern Queensland Div. Rep. 53, CSIRO.

Recibido: 12-7-90.

Aceptado: 24-1-91