

PROPIEDADES, GENESIS Y CLASIFICACION DE SUELOS
DE TERRAZAS DEL GUADALQUIVIR

por

Luis Clemente Salas

Trabajo presentado para optar
al Grado de Doctor en Ciencias
Sección de Químicas.

Sevilla, marzo de 1973

PROPIEDADES, GENESIS Y CLASIFICACION DE SUELOS
DE TERRAZAS DEL GUADALQUIVIR

Trabajo presentado por D. Luis Clemente Salas para aspirar al Grado de Doctor en Ciencias, Sección de Químicas, realizado bajo la dirección del Profesor de Química Agrícola y Edafología de la Universidad de Sevilla, Dr. D. Guillermo Paneque Guerrero, a quien expreso mi profundo agradecimiento.

Visado en Sevilla a de marzo de 1973
El Director y Ponente

GUILLERMO PANEQUE GUERRERO

Mi gratitud al Profesor Dr. D. FRANCISCO GONZALEZ GARCIA, Director del C.E.B.A.C., por su continuo apoyo en la realización del presente trabajo.

Agradezco al Profesor P. SEGALEN, Director del O.R.S.T.O.M. (Paris), su ayuda durante mi estancia en dicho Centro.

Mi agradecimiento a los Colaboradores Científicos D. J.L. MUDARRA GOMEZ y D. J.L. PEREZ RODRIGUEZ y al Ingeniero Agrónomo D. DIEGO DE LA ROSA ACOSTA por sus consejos y ayuda.

Mi reconocimiento a la Dirección General de Enseñanza Superior e Investigación del Ministerio de Educación y Ciencia por la concesión de una beca del Plan de Formación de Personal Investigador que permitió la realización de este trabajo.

Mi reconocimiento, así mismo, al Servicio de Cooperación Cultural y Técnica de la Embajada de Francia en Madrid por la concesión de una beca para ampliación de estudios en el O.R.S.T.O.M. (Paris).

INDICE

		pag.
I	I N T R O D U C C I O N	1
I.1	GENESIS, PROPIEDADES Y CLASIFICACION DEL SUELO	4
I.1.1	Génesis y evolución del suelo	4
I.1.2	Propiedades del suelo	15
I.1.3	Clasificación del suelo	25
I.2	GEOMORFOLOGIA DE TERRAZAS	33
I.2.1	Concepto y formación de terrazas fluviales	33
I.2.2	Terrazas fluviales de España	35
I.2.3	Terrazas del Guadalquivir	37
I.3	SUELOS DE TERRAZAS EN LA CUENCA MEDITERRANEA	40
I.4	SUELOS DE TERRAZAS DEL GUADALQUIVIR	47
I.4.1	Datos climáticos	47
I.4.2	Datos de vegetación	49
I.4.3	Suelos	51
I.4.4	Descripción de perfiles	60
II	M E T O D O S E X P E R I M E N T A L E S	76
II.1	DESCRIPCION MORFOLOGICA	77
II.2	PREPARACION DE LA MUESTRA	78
II.2.1	Preparación de las muestras para el análisis químico del suelo	78
II.2.2	Preparación de las muestras para el análisis mecánico	78
II.2.3	Eliminación de la materia orgánica	78

II.2.4	Eliminación de carbonatos	78
II.2.5	Extracción de la arcilla	79
II.3	DETERMINACIONES GENERALES DEL SUELO	79
II.3.1	Análisis mecánico	79
II.3.2	Determinación de materia orgánica y carbono orgánico	80
II.3.3	Nitrógeno	80
II.3.4	Acidez	80
II.3.5	Carbonatos	81
II.3.6	Capacidad de cambio y cationes cambiables	81
II.4	ANALISIS QUIMICO TOTAL DEL SUELO	82
II.5	ESTUDIO MINERALOGICO DE LA FRACCION ARCILLA	83
II.5.1	Análisis químico total	
II.5.2	Análisis térmico diferencial	83
II.5.3	Diagramas de difracción de rayos X	84
II.6	DETERMINACIONES QUIMICAS DE HIERRO	85
II.6.1	Hierro total	85
II.6.2	Hierro libre	86
II.6.3	Hierro amorfo	86
II.7	DETERMINACION DE MINERALES AMORFOS EN EL SUELO	86
III	R E S U L T A D O S E X P E R I M E N T A L E S Y C O M E N T A R I O S	88
III.1	DETERMINACIONES QUIMICAS GENERALES: MATERIA ORGANICA, REACCION, CAPACIDAD DE CAMBIO DE BASES Y CATIONES CAMBIABLES	89
III.2	ANALISIS GRANULOMETRICO	101
III.3	ANALISIS QUIMICO TOTAL DEL SUELO	112

III.4	MINERALES AMORFOS EN LOS SUELOS	128
III.5	CONTENIDO Y DISTRIBUCION DE Fe_2O_3	137
III.6	ESTUDIO MINERALOGICO DE LA ARCILLA	150
III.6.1	Análisis químico total de la fracción arcilla del suelo	150
III.6.2	Razones moleculares sílice/sesqui-óxidos en las arcillas	158
III.6.3	Estudio roentgenográfico de las arcillas	164
III.6.4	Análisis térmico diferencial de las arcillas	202
IV	D I S C U S I O N	222
V	C O N C L U S I O N E S	272
VI	B I B L I O G R A F I A	282

I. INTRODUCCION

En el amplio y largo valle del Guadalquivir, los terrenos constituidos por sedimentos cuaternarios del río determinan dos zonas bien diferenciadas: la de vegas y la de terrazas. En la primera, los materiales son sedimentos recientes, en general poco transformados. Estos sedimentos constituyen suelos jóvenes y fértiles, fáciles de regar. En la segunda, zona de terrazas, aunque de topografía en general llana, se distinguen áreas a distintos niveles sobre las que se encuentran suelos maduros de color, textura y estructura muy diferentes. Estos suelos, por mostrar perfiles con horizontes muy contrastados y encontrarse a niveles muy superiores al del río, son difíciles de regar.

Aunque se posee un conocimiento general de los suelos de estas dos zonas, falta, sin embargo, un estudio detallado de las formaciones edáficas más representativas. En el trabajo que a continuación se

expone se relacionan datos morfológicos, propiedades y constituyentes de suelos de la vega y terrazas de la margen izquierda del Guadalquivir, entre los rios Corbones y Guadaira. A nuestro juicio, esta zona puede considerarse como un módulo adecuado para estudios posteriores de las principales formaciones edáficas desarrolladas sobre sedimentos del Guadalquivir, suelos que al mismo tiempo poseen un gran interés científico y práctico.

I. 1 GENESIS, PROPIEDADES Y CLASIFICACION DEL SUELO

I. 1.1 Génesis y evolución del suelo

La formación del suelo tiene lugar a partir de un substratum geológico puesto al descubierto por la erosión o procedente de un depósito más o menos reciente, de tipo fluvial, eólico, etc. Sobre los materiales de partida actúan diversos factores ecológicos de la génesis y evolución del suelo, tales como clima, vegetación, topografía, etc., dando lugar a una serie de procesos que conducen a la diferenciación de distintos estratos, llamados horizontes. Como se sabe, los distintos horizontes muestran determinadas propiedades y definen diferentes tipos de perfiles de suelos.

Según Duchaufour (1970), la evolución de un suelo está gobernada por tres procesos generales :

- 1) alteración de las rocas, que conduce a la formación de un complejo de alteración;
- 2) aumento del contenido de materia orgánica a partir de la vegetación que coloniza el suelo en formación, hasta alcanzar un equilibrio en el que las pérdidas por mineralización se compensan por los aportes de restos vegetales frescos;
- 3) movilización de elementos solubles y coloidales, bajo la influencia del agua, que determina la formación de horizontes empobrecidos (eluviales) y otros enriquecidos o de acumulación (iluviales).

Estos tres procesos generales están a su vez regidos por los factores ecológicos (Jenny, 1941).

Así por ejemplo el clima juega un papel fundamental. La alteración en medio cálido y húmedo difiere de la correspondiente a un clima templado, no solo en lo que respecta a la velocidad del proceso, sino incluso a su propia naturaleza (Albareda, 1942; Duchaufour, 1970).

La influencia del factor clima hay que considerarla de forma amplia y general, pero sin olvidar que los factores locales (roca madre, relieve, vegetación, etc.) pueden modificar el proceso climático de conjunto. Se sabe que la abundancia de productos orgánicos solubles y fuerte acidez aceleran la alteración, pero aminoran la formación de arcillas o incluso provocan la degradación de las preexistentes. Por el contrario, un contenido elevado de cationes alcalino-térreos y una fuerte actividad biológica hacen decrecer la alteración, pero favorecen la neoformación de arcillas más ricas en sílice (Trichet, 1969).

Así mismo, es importante la influencia de los factores ecológicos en el proceso de movilización de sales solubles y de coloides. Según Duchaufour (1970), es el "drenaje climático", esto es la diferencia entre la pluviometría y la evapotranspiración, el que rige la importancia del lavado o lixiviado, sobre todo lo que concierne a las bases y arcillas. Henin y Aubert (1945) han definido el "drenaje calculado" con ayuda de una fórmula climática en la que interviene la pluviometría y la

temperatura media anual. Demuestran que el lixiviado de coloides minerales es débil para un drenaje comprendido entre 90 y 200 mm, y considerable para valores superiores a 200 mm. De todas formas, como sucede en la alteración química, los factores locales intervienen igualmente, incluso de forma decisiva en algunos casos.

Duchaufour (1970) distingue dos categorías de factores ecológicos: pasivos y activos. Entre los primeros incluye a la roca madre que proporciona el material de partida. Entre los segundos, considera el clima y la vegetación que transforman estos materiales.

Como ya se ha indicado, el clima condiciona los procesos de alteración y evolución de la materia orgánica y mineral y las emigraciones. A escala mundial, el factor clima juega un papel preponderante en la edafogénesis (Duchaufour, 1963). Sin embargo, a escala grande son sobre todo los factores locales los que permiten explicar la génesis de los diferentes tipos de suelos ubicados en una zona determinada.

La roca madre no juega más que un papel secundario a escala mundial, mientras que dentro de una región dada su importancia es decisiva en muchos casos. En efecto, la roca madre, por sus propiedades especiales, puede llegar a independizar la evolución edáfica del factor clima, como ocurre en los suelos llamados intrazonales.

El relieve como factor ecológico de la génesis y evolución del suelo tiene una doble acción: directa e indirecta. En el primer caso actúa a través de dos procesos, la erosión y el lavado oblicuo o lateral. La acción de estos dos procesos explica la formación de un escalonamiento de suelos, idénticos a lo largo de las curvas de nivel, pero que varían de forma regular y continua desde lo alto a la base de la pendiente. Este conjunto de suelos recibe el nombre de "catena". La acción indirecta del relieve incide fundamentalmente en el grado de hidromorfía del suelo.

La vegetación tiene una marcada influencia en la edafogénesis por el microclima que crea, por la profundidad del enraizamiento, por el humus que produce y finalmente, por la protección que ofrece al suelo contra la erosión (Aubert, 1960).

El bosque favorece y protege la formación del humus por el ambiente sombrío y húmedo que provoca. Al mismo tiempo, este humus, agente esencial en la edafogénesis, dependerá de la naturaleza de los restos que la vegetación incorpora al suelo. Por otro lado, el enraizamiento profundo favorece al máximo el movimiento descendente que provoca el lavado de los coloides (Vobloboev, 1964; Duchaufour, 1960).

La Edafología ha definido una serie de procesos genéticos particulares atendiendo al modo de alteración, al estado del complejo de cambio del suelo y

a las emigraciones (Duchaufour, 1970). Dos o más de estos procesos pueden sucederse en la evolución de un suelo (Kubiena, 1970; Yaalon, 1971). Como más interesantes en relación con los suelos que se estudian se resumen a continuación los siguientes procesos edafogénicos:

El lavado o lixiviado puede definirse como un proceso de arrastre mecánico de los coloides en medio débilmente húmico, medianamente o poco ácido y biológicamente activo. A diferencia de la podsolización, la arcilla no sufre ninguna transformación química (Duchaufour, 1957, 1960, 1964). En medio no ácido y poco húmico, los compuestos solubles son exclusivamente minerales; la sílice juega entonces un papel muy importante solubilizando el hierro en forma de complejos ferro o ferrisilícicos. En este caso existe pérdida importante de sílice de los coloides (caolinización). En los suelos donde este proceso evolutivo predomina no existe emigración de materia orgánica por lo que los horizontes profundos (horizonte B) son muy pobres en estos compuestos. La mineralización de la materia orgánica es rápida y se refleja en una razón C/N no muy alta y que disminuye rápidamente con la profundidad. Hay, sin embargo, emigración de arcilla y hierro, dando lugar a la formación de un horizonte B de acumulación, cuya existencia puede afirmarse cuando la razón entre los contenidos de arcilla de éste y del

horizonte A sea superior a 1.4 (Aubert, 1965), y por otras circunstancias que definen los llamados horizontes argílicos (Soil Survey Staff, 1960).

El proceso de pseudogleyización está condicionado por la presencia de agua que satura todos los poros de la mayor parte del perfil durante un periodo más o menos largo. La anaerobiosis provocada reduce parcialmente el hierro, aumentando su solubilidad y por tanto su movilidad; puede entonces emigrar y precipitar por oxidación en zonas localmente aireadas en forma de manchas o concreciones, lo cual ofrece al perfil un aspecto característico. Para Duchaufour (1968, 1970), los pseudogleys resultan, en general, de un proceso de degradación a partir de un suelo lavado, pudiéndose distinguir dos fases en esta evolución. En una primera fase, el horizonte B del suelo lavado original se comprime e impermeabiliza, apareciendo manchas rojizas poco marcadas. En una segunda fase, se acentúa el carácter hidromorfo de este horizonte, dando lugar al horizonte Bg, típico de los pseudogleys, Kubiena (1953) y Muckenhausen (1963).

Un tercer proceso a considerar es el de la calcificación. Se caracteriza por una alteración con pérdida de sílice muy débil, que da lugar a arcillas con razón $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ elevada y con alta capacidad de cambio, saturada por Ca^{++} y Mg^{++} , fundamentalmente. Existe lavado parcial de alcalinotérreos, con acumulación de carbonatos en profundidad. Puede llegarse

a la formación de costra caliza o yesosa, por influencia de un clima subdesértico, caracterizado por un fuerte contraste entre una estación de lluvias cortas y violentas y otra de fuerte evaporación, Boulaine (1966) y otros.

En depresiones mal drenadas, y con ambiente muy rico en bases, se desarrolla el proceso de la tirsificación como resultado de una hidromorfía temporal que conduce a un ennegrecimiento del suelo, debido a la formación de un humus hidromorfo que compleja el hierro y la arcilla. Este proceso conduce la evolución edáfica hacia vertisoles, que reciben nombres diversos en diferentes países: regur (India), tirs (Marruecos), smonitza (S.E. de Europa), black cotton soil (USA), tierra negra (España), etc. Como puede comprobarse, el proceso se desarrolla en zonas cuya característica climática común es la existencia de una estación seca y cálida (Dudal, 1967).

La estepización se caracteriza por la incorporación muy profunda de un humus mull cálcico de estepa en clima semiárido. Este humus enmascara los óxidos rojos de hierro sin modificar su naturaleza. El proceso de estepización conduce la evolución edáfica hacia el suelo "marron" de la clasificación francesa y otras (Guerassimov, 1954, 1956; Aubert, 1965; Duchaufour, 1970).

La rubefacción es el proceso por el cual el hierro sufre una evolución particular, confiriendo al suelo un color rojo muy vivo (Duchaufour, 1968). Pa-

rece ser un proceso característico de la región mediterránea o al menos, característico del clima de la región, dónde existe un fuerte contraste estacional. En efecto, una de las condiciones necesarias es ante todo una alternancia de humectación profunda y desecación acentuada del suelo. Boulaine (1966).

La rubefacción no solo está ligada al clima o microclima del suelo, sino que depende también de la naturaleza de la roca madre. Es muy frecuente sobre caliza después de descarbonatación, sobre esquistos (Dachary, 1967) y sobre otros materiales. Pero en cualquier caso, el pH ha de ser vecino a la neutralidad y la saturación del complejo de cambio muy elevada, sobre todo en Ca^{++} y Mg^{++} . Taylor et al. (1967) señalan una correlación positiva entre el contenido en Ca^{++} y Mg^{++} y la intensidad de la rubefacción. Por otra parte, la rubefacción está ligada a un proceso de deshidratación de los óxidos de hierro, provocado durante las fases de desecación del perfil. A este respecto, se han calculado las razones goetita/hematite y se ha encontrado un valor de 1 en clima suficientemente seco (suelo rojo) y de 3 a 4 en clima más húmedo (suelo pardo) (Duchaufour, 1968). Para Lamouroux (1967), esta relación con el clima es evidente y afirma que la rubefacción se da en la actualidad en un área climática definida por un parámetro $D \times T$ superior a 5.000, siendo D el drenaje en mm y T la tempe-

ratura media. En clima menos húmedo y contrastado, la rubefacción es un fenómeno muy lento y progresivo.

El proceso de la rubefacción no parece ser muy intenso actualmente, sobre todo en llanura, sin embargo sigue siendo activo en zonas con clima excepcionalmente contrastado (Lamouroux, 1967). Boulaine (1961) opina que la rubefacción es actual pero discontinua en el tiempo debido a las grandes variaciones del clima mediterráneo de un año a otro. El proceso no se daría más que ciertos años más favorables.

Como se ha visto, los factores ecológicos condicionan los procesos edáficos, los cuales confieren al suelo ciertas propiedades características cuyo estudio permite interpretar su génesis y evolución.

De la definición de suelo como medio biológico en equilibrio con las condiciones actuales de clima y vegetación, se deduce que los caracteres y sucesión de los horizontes del perfil reflejan las condiciones de la evolución edáfica. La interpretación de la génesis y evolución del suelo se deduce del estudio de sus propiedades químicas, físico-químicas y mineralógicas. La investigación debe abarcar todo el perfil, desde la roca madre hasta los horizontes superficiales, teniendo en cuenta el clima, vegetación y geología de la zona donde se encuentra situado.

El conocimiento de la génesis de un perfil es a veces un problema complicado cuando el suelo no

se ha formado directamente sobre la roca madre alterada in situ. Así, existen suelos desarrollados y organizados sobre un suelo fósil o paleosuelo, formado en condiciones de clima y vegetación diferentes a las actuales; el suelo fósil juega verdaderamente el papel de roca madre. Entonces es difícil distinguir los caracteres atribuibles a la génesis actual y los referentes a la génesis antigua.

En ciertos casos existen suelos que debido a la erosión pierden los horizontes superficiales (suelos decapitados). En estas circunstancias el horizonte B, así puesto al descubierto puede comportarse como una roca madre y sufrir una nueva evolución edáfica. Estos suelos complejos reciben el nombre de suelos poligenéticos.

Por último, en el caso de suelos aluviales puede también existir dificultad en la interpretación genética. Por ejemplo, la presencia a menudo de una capa arenosa superficial, que recuerda un horizonte A lavado, sobre un sedimento arcilloso, simulando un horizonte B de acumulación, podría inducir a pensar en un perfil muy evolucionado, cuando en realidad se trata de sedimentos aluviales, debidos a distintas avenidas del río. Por tanto, es necesario, a la hora de interpretar la génesis de un suelo, tener en cuenta su posición en relación con el paisaje. En este sentido existe cierta interdependencia entre Geomorfología y Edafología.

En los últimos años estas dos ciencias han tenido un progreso particularmente rápido, llegando a tener ambas muchos puntos de contacto. (Tricart y Michel, 1965).

Existe un verdadero medio geomorfológico en la superficie del globo caracterizado por fenómenos particulares. Las rocas de la litosfera, que han adquirido sus propiedades a profundidades más o menos grandes, pueden llegar a aflorar, con el consiguiente cambio de las condiciones químicas y físicas. Sufren pues una variación importante en su medio fisico-químico y su adaptación a este nuevo medio se traduce en una alteración física y química (Albareda, 1940). Será necesario estudiar estas alteraciones y seguir sus procesos, no dejando a la geomorfología como mera ciencia descriptiva. Así concebida, la Geomorfología interfiere necesariamente con la Edafología. (Ruhe, 1956).

Sin tratar de subordinar una ciencia a otra, pero teniendo en cuenta que existen objetos comunes, es necesario hacer consideraciones conjuntamente, ya que la evolución geomorfológica suministra el marco para la evolución de los suelos. Estos están sometidos durante su formación a procesos morfogenéticos que dan como resultado la diferenciación del perfil.

La dinámica actual de la geomorfología sólo puede explicar los procesos edafogenéticos actuales.

Sin embargo es excepcional que en una región algo extensa todos los suelos sean actuales, por lo que el conocimiento preciso de lo que es actual y lo que es heredado es fundamental, tanto en Geomorfología como en Edafología. Es posible encontrar en ciertas áreas paleosuelos asociados a suelos actuales, igual que existen formas del terreno sobre otras de evolución antigua bien conservadas.

Para que un suelo no se modifique, es necesario que se conserve en un lugar geomorfológico que no sufra transformaciones. Los típicos paleosuelos se encuentran asociados a formas de terreno antiguas. El caso más corriente es el de las terrazas, antiguos planos de inundación que fueron formadas por la sedimentación de materiales aluviales.

I.1.2 Propiedades del suelo

Los procesos de génesis y evolución del suelo conducen a la diferenciación de los distintos horizontes que constituyen el perfil. Estos horizontes adquieren propiedades morfológicas, físicas, químicas, mineralógicas, etc. particulares, cuyo estudio es de suma importancia para el conocimiento científico y práctico del suelo.

Así por ejemplo, en la apreciación y descripción de las propiedades morfológicas de los horizontes

se basa en gran medida, el estudio del perfil de suelo.

La descripción y designación de horizontes edáficos ha evolucionado muy notablemente desde la introducción del método edafológico por los autores rusos de finales del siglo pasado. En la actualidad existen dos tendencias: la americana (normas del Soil Survey Manual (1951) y de la 7ª Aproximación para la clasificación del suelo (1960, 1967)) y la europea. Esta última está representada en Europa Occidental en los trabajos de Kubiena (1953), Muckenhausen (1954), Duchaufour (1970) y otros.

Se explica así, que la Sociedad Internacional de la Ciencia del Suelo haya tratado de unificar criterios, habiendo efectuado en este sentido una propuesta en 1967. Más recientemente los criterios para describir perfiles han sido normalizados por la F.A.O. (1968), por el O.R.S.T.O.M., (1969), y por otros centros e instituciones.

En el amplio capítulo del estudio morfológico del suelo, ha adquirido en los últimos años un extraordinario interés la investigación micromorfológica en láminas delgadas. Sin duda alguna debe considerarse a Kubiena (1938) como el iniciador de estos estudios. Desde 1958 son tres los Congresos Internacionales celebrados sobre micromorfología del suelo. En 1969 se crea el Grupo Internacional de Micromorfología del suelo, reconocido oficialmente como Grupo

de la Sociedad Internacional del Suelo.

El aumento del contenido de materia orgánica en el suelo, hasta alcanzar un equilibrio, es uno de los procesos fundamentales en la edafogénesis. Se sabe que la materia orgánica incorporada juega un papel en la alteración y descomposición de los minerales del suelo. En este sentido Ravich-Shcherbo (1928) observa la disolución de los carbonatos (calcita, aragonito, dolomita, magnesita y siderita); Nikitin (1959), Berezova (1960), Mysków (1960) y otros estudian la transformación de los fosfatos en formas asimilables; Webley et al. (1960) muestran la descomposición de silicatos; Graham (1941), Ponomareva (1950, 1951) y otros estudian la descomposición de los minerales del grupo de los aluminosilicatos por medio de ácidos húmicos. Yarilova (1947), mediante el examen al microscopio de láminas delgadas, había demostrado el papel de ciertos líquenes en la alteración de rocas cristalinas y de sus constituyentes minerales.

De éstos y otros trabajos se deduce la gran importancia que tiene el estudio de la materia orgánica en la formación del perfil de suelo.

Sólo una parte de la materia orgánica del suelo se encuentra por lo general en forma libre; en gran medida se encuentra ligada a los constituyentes minerales del suelo formando complejos, bajo cuya forma puede emigrar a lo largo del perfil, Kononova (1966).

Diversos autores como Springer (1936), Tyurin (1937) y Tyulin (1938) estudiaron las posibles formas del enlace entre las sustancias húmicas y la parte mineral del suelo. Más recientemente hay que citar en esta misma línea, los trabajos de Khan (1950, 1959), Beutelspacher (1955), Aleksandrova (1954, 1960a, 1960b), Aleksandrova y Nad' (1958), Deuel (1960), Duchaufour (1957) y otros.

La investigación de las formas de humus es de gran importancia en los estudios ecológicos y sistemáticos del suelo, Kubiena (1944, 1953). En efecto, el tipo de humus se considera criterio básico en la definición de clases, grupos o tipos de suelos en las clasificaciones europeas. En la caracterización del humus, entre otros índices, es de suma importancia el conocimiento de la razón C/N y su variación a lo largo del perfil. Así mismo, la reacción del suelo, la capacidad de cambio de bases (T) y la saturación en bases (V) son de interés.

Como se ha indicado, el tipo de humus está en relación con la naturaleza y extensión de ciertas emigraciones de sustancias en el perfil, Zonn (1960), Duchaufour (1957). Las emigraciones de sustancias se definen en el proceso de lavado o lixiviado. A este respecto, son de gran interés el estudio de la distribución de carbonatos en los diferentes horizontes del perfil y los datos del análisis granulométrico de cada uno de ellos. Como se sabe, al mismo tiempo

existe cierta relación entre estos dos datos. En efecto, según Blume (1964) y Burnham (1964), en un medio rico en caliza activa, el lavado de arcilla no se produciría en razón de la concentración, generalmente elevada, de cationes Ca^{++} flocculantes.

El proceso de lavado más interesante es quizás el que afecta al complejo de alteración del suelo. Como se ha indicado, este resulta de la descomposición lenta de los minerales primitivos, y constituye la fracción fina del suelo formada por partículas de diámetro inferior a 2 micras, según acuerdo internacional, Albareda (1940). A esta fracción fina del suelo se la designa corrientemente con el término arcilla; conviene precisar que se trata de una mezcla heterogénea de diversos minerales.

Además de minerales propios de las arcillas, pueden encontrarse formando parte del complejo de alteración, otros minerales, tales como cuarzo -a veces en proporciones importantes-, minerales amorfos (SiO_2 , Fe_2O_3 y Al_2O_3), óxidos de hierro con diferentes grados de hidratación, hidratos de alúmina, caliza generalmente precipitada o en concreciones muy finas, etc.

Se comprende el gran interés que tiene el estudio particular de la arcilla, pues mientras que las fracciones gruesas no constituyen más que un soporte inerte, que representa como máximo una reserva mineral poco utilizable por las plantas de forma inmediata, los elementos finos son los responsables de las

propiedades fisico-químicas del suelo. Por otra parte, la distribución y frecuencia de los minerales de la arcilla en el suelo son datos importantes en el conocimiento de las condiciones de formación y evolución de éste. En efecto, Jackson (1959) indica que la génesis de la arcilla depende de cinco factores principales: clima, roca originaria, relieve, biología y tiempo, pero fundamentalmente de las condiciones climáticas, según se deduce de los trabajos de Jenny (1935), Jackson y Sherman (1953) y otros.

Como se sabe, los minerales de la arcilla son silicatos laminares, con espaciados característicos para cada tipo. A pesar de tener estructura cristalina, los minerales de la arcilla están dotados de propiedades coloidales a causa de su pequeño tamaño de partícula, de la carga eléctrica y de la posibilidad de separación de láminas, permitiendo la adsorción de moléculas de agua, de diversos iones y de otras sustancias.

Aunque existen diversas clasificaciones de los minerales de la arcilla, pueden distinguirse, de forma general, cuatro grandes grupos: grupo de la caolinita, grupo de la montmorillonita, grupo de las micas-ilitas y grupo de la atapulgita.

La caolinita, con una razón $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ de 2, es la que presenta el menor contenido de sílice, y propiedades coloidales menos acentuadas, con un poder de adsorción de bases reducido. Las montmorillonitas

forman, por el contrario, el grupo más rico en sílice y con un poder de adsorción de moléculas de agua y fijación de cationes, elevado, debido a la gran facilidad de hinchamiento de sus láminas. Las ilitas comprenden varios tipos de arcillas igualmente ricas en sílice, que ofrecen caracteres y propiedades próximas a las de las micas e intermedias de las dos familias precedentes; ciertas ilitas tienen un poder de hinchamiento notable (vermiculita), mientras que otras tienen una red fija (ilita). Por último, las atapulgitas se caracterizan por una estructura fibrosa, Duchaufour (1970).

Además de estos tipos fundamentales, los estudios recientes han demostrado que existen en el suelo una gran variedad de minerales arcillosos más o menos próximos a estas cuatro familias, Hénin y Caillère (1963).

Existen diversos métodos para el estudio de las arcillas; entre ellos, quizás sean los más utilizados el análisis químico, el térmico diferencial y el estudio de los diagramas de difracción de rayos X.

El estudio de la fracción arcilla por medio del análisis químico es insuficiente para precisar la naturaleza de los minerales que la componen. No obstante, es un método que ha sido utilizado por todos los investigadores, ya que presta utilidad en el conocimiento de la composición de la arcilla, y del proceso de formación en relación con la roca originaria

y los factores externos, Hoyos y González (1949), Hénin y Caillère (1963). Para la caracterización mineralógica de la arcilla, ofrece mayor interés el análisis térmico diferencial, empleado primeramente por Le Chatelier en 1887. A partir de 1933, Orcel y Orcel y Caillère utilizan ampliamente esta técnica en la investigación de los minerales que constituyen la fracción fina del suelo. Desde entonces son muy numerosos los trabajos realizados en todo el mundo. De todas formas hay que citar los estudios teóricos, sobre esta técnica analítica, de Boersma (1955), Mackenzie y Mitchell (1957), Martín Vivaldi et al. (1963) y otros, así como los trabajos sobre la aplicación de este método en la investigación de la arcilla de Deeg (1956), Grim (1968), Mackenzie (1970), Sudo y Shimoda (1970), Pérez Rodríguez (1969) y otros.

Mayor especificidad ofrece el estudio de los diagramas de difracción de rayos X para el conocimiento de la naturaleza mineralógica de la fracción arcilla del suelo. Es con la aplicación de esta técnica como pudo comprobarse la estructura cristalina de estos minerales. Su fundamento consiste en que los distintos planos que forman la red del cristal reflejan la radiación incidente de acuerdo con la ley de Bragg.

Para el análisis con rayos X, el material problema puede disponerse según dos técnicas diferentes: preparado en polvo y agregados orientados, Mac

Ewan y Amorós (1950). Con la primera (método de Debye-Scherrer), se suponen representados en la muestra todos los planos y siempre existe el ángulo necesario para que se cumpla la ley de Bragg. Con la segunda, se refuerzan las difracciones basales (d_{001}) de los minerales.

Brown (1961) recoge diferentes técnicas para la separación de difracciones coincidentes de distintos minerales con lo que se consigue su identificación. Entre estas técnicas, están la solvatación con etilenglicol o glicerol, calentamiento de la muestra a distintas temperaturas, ataques ácidos, etc. En esta misma línea hay que destacar los trabajos de González y Sánchez (1965, 1966, 1967, 1968) sobre la adsorción de dimetilsulfóxido por diferentes minerales, con lo cual consiguen variar la difracción basal (d_{001}).

Formando parte del complejo de alteración se encuentran en el suelo óxidos hidratados de hierro que pueden estar adsorbidos por la arcilla o al menos movilizarse con ella. Esta adsorción parece estar regulada por la distinta carga de los minerales arcillosos y de los óxidos de hierro, existiendo una serie de factores que influyen en el fenómeno, como puede ser el pH, Sumner (1963).

Para Duchaufour (1970), el hierro es el elemento cuyo estado, en el suelo, mejor informa sobre los procesos genéticos. Así, el grado de hidratación de

los óxidos de hierro ofrece indicaciones sobre el microclima del suelo; su estado reducido (color gris-verdoso) traduce condiciones de cierta anaerobiosis (suelos hidromorfos); su distribución en el perfil informará sobre el proceso de lavado; en fin, el hierro interviene en la estructura del suelo favoreciendo ciertos tipos de estructuras muy estables. En definitiva, los óxidos de hierro libre constituyen un buen índice de la evolución del suelo, pues parece existir una clara relación entre la mayor o menor juventud de un suelo y su contenido en hierro libre, (Olmedo, 1971; Paneque y Olmedo, 1971 y Olmedo y Paneque, 1971).

Finalmente, existen en el complejo de alteración del suelo una serie de minerales amorfos (SiO_2 , Al_2O_3 y Fe_2O_3), cuyo estudio es de indudable interés en relación al grado de desarrollo y alteración del suelo. Estos minerales amorfos han sido objeto de numerosos trabajos en los últimos años, habiendo sido recogidos muchos de ellos por Mitchell et al (1964).

Al estudiar estos trabajos se observan las dificultades que entraña la identificación y determinación de los minerales amorfos. Segalen (1968) ha propuesto un método de análisis que parece ser satisfactorio y lo aplica a diferentes suelos: ferralíti-

cos, ferruginosos tropicales, fersialíticos y suelos con alofanas. Dentro de los suelos fersialíticos ha encontrado un contenido apreciable de Fe_2O_3 amorfo (aproximadamente 1.5 %), al que se debe el color de los suelos rojos mediterráneos, (Lamouroux y Segalen (1969)). En estos suelos no encuentra sílice amorfa y sí un pequeño porcentaje de alúmina amorfa (0.5 - 0.8%).

I.1.3 Clasificación del suelo

Una de las misiones de las ciencias de la Naturaleza es ordenar los conocimientos adquiridos y agruparlos en sistemas. De este modo nacen las clasificaciones, las cuales evolucionan al mismo tiempo que lo hacen nuestros conocimientos; esto es, las clasificaciones marcarán en un momento dado el nivel alcanzado por la ciencia.

La Edafología ha tenido en los últimos años un rápido progreso, por lo que son numerosas y diversas las clasificaciones de suelos aparecidas.

En el siglo pasado, en Europa Occidental se consideraba el suelo como una roca. Por ello, las primeras clasificaciones con fundamento científico fueron geológico-petrográficas. Esta caracterización de los suelos dentro de una línea geológica, culmina en la clasificación de Fallou (1862).

Pero mientras los edafólogos de la Europa Occidental vieron en la geología las causas de las di-

ferencias entre los suelos, debido quizás a limitarse a un área relativamente pequeña y de clima bastante uniforme, los edafólogos rusos, con una extensión de superficie comparativamente más grande, vieron en el clima el factor dominante en la formación del suelo, y así se pretendió su clasificación de acuerdo con las condiciones climáticas en que habían evolucionado. El fundador de la gran escuela edafológica rusa fué Dokuchaiev, cuyos primeros trabajos sobre clasificación aparecieron en 1870. Estas clasificaciones climáticas continuaron durante el presente siglo y en ellas se basa la antigua clasificación americana de Baldwin et al. (1938), en la que se dividen los suelos en tres grandes órdenes: zonales, intrazonales y azonales.

Otras de las clasificaciones importantes de la primera mitad de este siglo son las que se apoyan sobre propiedades químicas del suelo. Entre éstas hay que citar la de Gedroiz (1929), basada en el estado del complejo de cambio y la de Pallmann (1947), en la que se atribuye una importancia fundamental al sentido del lavado para definir las clases, y a la naturaleza química del "filtro", compuesto por elementos fijos en el suelo, para los órdenes.

Robinson (1949) presenta su clasificación apoyada al mismo tiempo sobre propiedades químicas del suelo y sobre el clima.

A esta primera mitad del siglo XX pertenece el primer intento verdaderamente importante de clasificación de suelos en España, con el trabajo de E.H. del Villar, sobre los suelos de la península Iuso-Ibérica (1937).

Las modernas clasificaciones de suelos dan prioridad a los caracteres que traducen el proceso evolutivo frente a las causas externas de la evolución (Duchaufour, 1961). Sin embargo, hay que exceptuar la actual clasificación rusa en la que la base fundamental sigue siendo el medio, las condiciones ecológicas, con preferencia sobre los procesos evolutivos.

Como criterios de base más frecuentemente empleados pueden citarse:

- a) desarrollo del perfil
- b) modo de alteración climática
- c) tipo de materia orgánica y
- d) hidromorfía.

Estos criterios, aislados, combinados entre sí o bien puestos de manifiesto a través de características especiales de algunos horizontes, se emplean de manera distinta en las diversas clasificaciones. Por ejemplo, la hidromorfía tiene un sitio diferente en la jerarquía de los caracteres en unas clasificaciones respecto de otras. Basándose en la hidromorfía como criterio fundamental de su clasificación, Avery (1956)

distingue dos grandes categorías de suelos: hidromorfos y no hidromorfos; de la misma forma, Kubiena (1953) y Muckenhausen (1954) dividen los suelos en: terrestres, semiterrestres y sub-acuáticos. Por el contrario otras clasificaciones, como la americana de 1960, consideran la hidromorfía como fenómeno secundario; en consecuencia, usan este criterio a nivel de suborden.

Casi todas las sistemáticas modernas presentan un modelo de construcción de multicategorías que idealmente debería semejar a una pirámide, con dos o tres divisiones fundamentales en el vértice y numerosas unidades inferiores en la base. No obstante, es difícil encontrar un criterio básico para definir dos o tres unidades fundamentales. La mayoría de las sistemáticas distinguen un número de clases u órdenes principales entre diez y quince, sobre la base de algunos de los criterios citados anteriormente. Sin embargo, es conveniente recordar como Kubiena (1953) resolvió el problema de la ordenación natural de los suelos a partir de tres divisiones.

Las modernas clasificaciones de suelos pueden enjuiciarse a partir de la base y fecha de la sistemática de Kubiena, que en 1953 actualiza las principales clasificaciones existentes. Kubiena agrupa los suelos en las tres grandes divisiones expuestas anteriormente. Las divisiones comprenden las clases y éstas, a su vez, los tipos. Además de éstas, existen otras categorías inferiores (subtipos, variedades y

formas locales).

Los suelos se clasifican atendiendo al conjunto de caracteres del perfil, teniendo en cuenta que éstos reflejan el proceso evolutivo fundamental cuando son considerados en sus relaciones dinámicas y biológicas dependientes de cambios estacionales y de otros más extendidos en el tiempo, que determinan, junto a las demás condiciones del medio, un desarrollo peculiar. Dicho desarrollo se pone de manifiesto cuando se agrupan los suelos desde los más sencillos a los más complejos. Kubiena establece el grado de complejidad de la organización atendiendo a la morfología general del perfil, y construye diversas agrupaciones de suelos desde los de perfil más sencillo (A)C a los más complicados ABC, pasando por los intermedios AC y A(B)C.

Emplea el término tipo de suelo siguiendo la definición propuesta por Dokuchaiev; esta unidad fundamental es aquella en la que se presenta más típicamente la diversidad de suelos en la Naturaleza. En la selección de aquellas características que son típicas entre todas, Kubiena encuentra en la micromorfología y en la biología del suelo aspectos extremadamente útiles para la interpretación de la génesis, para el conocimiento de las propiedades del conjunto, y como criterios esenciales para su ordenación.

Posteriormente a esta sistemática, Aubert y Duchaufour presentan un proyecto de clasificación en

el VIº Congreso de la Ciencia del Suelo celebrado en Paris en 1956. Esta clasificación es revisada en 1963, 1965 y 1967 y se conoce con el nombre de Clasificación francesa.

La actual clasificación francesa de suelos agrupa las diferentes formaciones edáficas en doce grandes categorías llamadas clases. Los principios de base utilizados para la definición de estas clases son: a) grado de evolución del perfil; b) alteración; c) tipo de humus y d) ciertos factores fundamentales de la evolución de los suelos que se vuelven predominantes, tales como la saturación permanente o temporal por el agua (hidromorfía), o presencia de sales muy solubles (halomorfia).

Las principales subdivisiones de la sistemática francesa son las siguientes: subclase, definida principalmente por el pedoclima o microclima interno del suelo; grupo, definido por los caracteres de conjunto del perfil (morfológicos sobre todo) que traducen un proceso genético determinado (por ejemplo, el lavado); subgrupo, se define por la intensidad de un proceso o por la manifestación de un proceso secundario.

Más tarde, en el VII Congreso Internacional de la Ciencia del Suelo (Madison, 1960), el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos dió a conocer la 7ª aproximación del sistema americano para la clasificación de suelos, revisada posteriormente en

1967.

La idea más nueva de esta clasificación es haber definido horizontes de diagnóstico, que permiten caracterizar y clasificar el perfil en las unidades superiores. El sistema gana en objetividad pero al mismo tiempo se hace más artificial, al combinar en los niveles más altos suelos muy diferentes.

Esta sistematización utiliza como criterios esenciales la presencia o ausencia de los horizontes de diagnóstico de profundidad o de superficie (epipedón). Son estos horizontes los que definen las diez unidades fundamentales u órdenes, salvo en el caso de los aridisoles, definidos por el clima, y de los vertisoles, definidos por la textura y la naturaleza de la roca madre. Los subórdenes se basan igualmente en ciertos horizontes de diagnóstico, diferentes de los que caracterizan a los órdenes, aunque también, y sobre todo, en otros criterios, tales como el microclima interno del suelo, hidromorfía y naturaleza de la roca madre. Por último, los grandes grupos se determinan por la presencia de horizontes de diagnóstico secundarios (fragipan, plintita, etc.).

Finalmente, los edafólogos rusos mostraron en el VIII^o Congreso Internacional de la Ciencia del Suelo (Bucarest, 1964) una nueva puesta a punto de la clasificación inicial de Dokuchaiev. En ella se sigue teniendo en cuenta las condiciones ecológicas que presiden la formación del suelo, antes que el proceso evo-

lutivo en sí mismo. Por ello, las clases son esencialmente climáticas. Las subclases (tres por cada clase) recuerdan la división inicial de los suelos en zonales, intrazonales y azonales, pero su designación es diferente: biogena (climática), biolitogena (intrazonalidad ligada a la roca madre) y biohidrogena (intrazonalidad ligada a la hidromorfia). Para los grupos se encuentran las tres divisiones fundamentales de Kubiena, pero a nivel inferior de la clasificación: automorfos, semi-hidromorfos e hidromorfos.

El extraordinario progreso tecnológico habido en los últimos diez años, ha determinado la aplicación de modernos métodos de taxonomía numérica a la sistemática de suelos, Bidwell et al. (1964 a, b), Rayner (1966), Norris (1970) y otros.

I.2 GEOMORFOLOGIA DE TERRAZAS

I.2.1 Concepto y formación de terrazas fluviales

En el estudio de los suelos de terraza es imposible distinguir la formación de éstas de la génesis de los suelos que sobre ellas se desarrollan. Por ello es conveniente hacer una referencia a la geomorfología de las terrazas fluviales en general, y a las del valle del Guadalquivir en particular, antes de considerar los suelos correspondientes.

El Valle del Guadalquivir es un antiguo golfo que con anterioridad constituyó un verdadero estrecho, comunicando el Atlántico con el Mediterráneo durante el Mioceno (Terán, 1967; Gignoux, 1960). Más tarde, las grandes convulsiones alpinas expulsan el mar de casi todos sus antiguos dominios, a excepción del sector bético, donde se encuentran las máximas profundidades del geosinclinal, continuando la sedimentación marina durante bastante tiempo. Resultado de esta sedimentación es un potente manto de margas y de areniscas y calizas detríticas. Estos materiales miopliocenos, más o menos desmantelados en algunas zonas, levantados en otras, constituyen por lo general, la base de los depósitos cuaternarios del Guadalquivir.

El concepto de terraza fluvial es relativamente moderno, ya que no aparece en la bibliografía geológica hasta principios de siglo, cuando autores franceses e ingleses, principalmente, comenzaron el estudio

detallado del Cuaternario.

Para explicar la formación de terrazas fluviales hay que considerar la teoría de los cambios de nivel de base de los cursos de agua continentales, al elevarse parte del continente por donde la corriente desemboca. Como consecuencia de esta elevación, el río tiende a establecer un nuevo perfil de equilibrio, alcanzando otro nivel de base. El cauce baja, quedando a ambos márgenes unos depósitos que constituyen lo que se llama una terraza fluvial (Lahee, 1962).

Al mismo tiempo, hay que tener en cuenta la sucesión alternativa de periodos fríos (glaciaciones) y cálidos (interglaciarios), que han existido en el curso del Cuaternario. Se ha calculado que durante los primeros las masas de hielo acumuladas representaban una retención hídrica suficiente para hacer descender el nivel del mar hasta un centenar de metros (Terán, 1952). Otros autores calculan este descenso en 180 metros (Dubois, 1931) o en 200 metros (Ponck, 1933). De aquí que los periodos glaciares fueran acompañados de un descenso en el nivel marino (regresión), mientras que en los interglaciares, las aguas invadieron los bordes costeros (transgresión). Las alternancias en el nivel de los mares provocan variaciones en la capacidad erosiva de los ríos, al cambiar la pendiente de sus cauces. Durante las glaciaciones, los ríos ahondan su curso, dejando a cierta altura y a ambos lados sedimentos fluviales que constituyen las terrazas.

Análogas consideraciones generales hay que aplicarlas al valle del Guadalquivir, que si bién no fué afectado directamente por las glaciaciones, éstas tuvieron una marcada influencia en el régimen del río.

Los periodos glaciares pueden equipararse con los pluviales estudiados por diversos autores franceses en el norte de Africa. En Marruecos y Argelia, se han establecido correlaciones entre las glaciaciones europeas y los pluviales norteafricanos (Rutten et al., 1963; Vaudour, 1969; Beaudet et al., 1967; etc.).

I.2.2 Terrazas fluviales de España

En España quizás sean E. Hernández Pacheco, F. Hernández Pacheco, Carandell, Aranegui y algunos otros, los iniciadores de los estudios, sobre las terrazas de los principales ríos españoles.

En 1925, Carandell publicó un trabajo sobre terrazas del Guadalquivir entre Villa del Río (Córdoba) y Lora (Sevilla) prácticamente limitado a una enumeración y correspondencia de los distintos niveles. Aranegui (1927) realizó un estudio en el río Ebro, destacando la existencia de dos terrazas en la margen izquierda, entre Sobrón (Alava) y Haro (Logroño), con una potencia de 2-3 metros y formadas de cantos silíceos y calizos unidos por arcilla parda. Este mismo autor (1927) publicó un trabajo similar sobre el río Tajo, en el tramo comprendido entre Aranjuez (Madrid) y Talavera de la Reina (Toledo); distingue tres niveles de terrazas a 10, 50 y 100 metros sobre el nivel

fluvial en las inmediaciones de Aranjuez, y a 15, 55 y 100 metros en Toledo, haciendo una correlación entre ellas.

En el río Pisuegra, F. Hernández Pacheco (1928) estableció hasta cinco niveles de terrazas a 10, 25, 30, 60 y 100 metros, respectivamente; como causa de formación de las mismas, indica variaciones climáticas ocurridas a lo largo del Cuaternario y relacionadas con los periodos glaciares e interglaciares. Este autor en colaboración con Aranegui (1927) estudió también el fenómeno de terrazamiento cuaternario del río Jarama, en las inmediaciones de San Fernando y Torrelaguna. En este trabajo se habla de suelos al indicarse la presencia de formaciones edáficas rojas en el nivel de los 100 metros. Con posterioridad, los mencionados autores añaden nuevas observaciones sobre el terrazamiento de los ríos Henares y Jarama, tratando de deslindar el papel de cada uno de ellos. En este mismo problema trabajó Royo (1929).

Entre los trabajos geológicos descriptivos de terrazas, hay que destacar el publicado por E. Hernández Pacheco (1928) sobre los principales ríos caudalosos españoles.

Diversos autores extranjeros han estudiado estos problemas en ríos de la península. Así por ejemplo, Nonn (1967) estudia las terrazas del valle inferior del río Miño en su margen derecha. Fija los niveles de terrazas existentes y efectúa su datación. Al mismo

tiempo, hace algunas observaciones edáficas, como poner de relieve la existencia de un fuerte lavado y de un proceso de ferruginización después de los depósitos aluviales.

En resumen, puede observarse que, salvo algún comentario particular o aislado, el estudio de las terrazas fluviales de la península ha sido abordado, la mayoría de las veces, desde un punto de vista geológico. En la actualidad existen diversos trabajos orientados al estudio de suelos de terrazas, entre los que deben mencionarse el de Albaroda et al. (1960) sobre los suelos del Valle del Ebro; el de Guerra y Monturiol (1959) sobre las vegas altas del Guadiana, y los referentes a los mapas de suelos de la provincia de Guadalajara (1970) y de las provincias de Zaragoza, Huesca y Logroño (1970). Más adelante, serán comentadas estas formaciones edáficas en relación con los suelos de terrazas del Guadalquivir.

I.2.3 Terrazas del Guadalquivir

Muy esquemáticamente, en el Cuaternario del Guadalquivir pueden diferenciarse dos terrenos: el diluvial, más antiguo y el aluvial, formado por sedimentos jóvenes que siguen depositándose en la actualidad.

En los terrenos antiguos se han localizado un total de cuatro terrazas, de topografía más o menos llana, y posiblemente pueda diferenciarse alguna más.

Estas terrazas descansan, principalmente, sobre el nivel de margas mencionado antes y que se observa donde por efecto de la erosión ha desaparecido el manto de gravas, arenas y linos (Mallada (1911); Instituto Geológico y Minero de España (1929)).

Como se sabe, la litología del valle bético es de una gran complejidad. Quizás lo más general es el carácter sedimentario de sus materiales. Los materiales que constituyen las terrazas son muy diversos en cuanto a su granulometría; existen sedimentos desde arcillosos hasta potentes mantos de gravas. Es frecuente que los cantos más o menos gruesos se encuentren entre un cemento de naturaleza arcillo-arenosa y repartidos por todas las terrazas, sin una ordenación muy definida. Pueden distinguirse cantos rodados de naturaleza granítica y cantos de pizarras silúricas y cámbricas, que proceden principalmente de Sierra Morena. Por erosión de rocas triásicas del Buntsandstein y Muchelkalk, se encuentran cantos de areniscas, calizas y otras rocas.

Recientemente, Cabanás (1957) ha realizado un trabajo sobre las terrazas del Guadalquivir en la provincia de Jaén; en este trabajo se efectúa un estudio geológico de los valles del Guadalquivir y de sus afluentes Guadalimar, Guadalbullón, Yeguas, Rumblar y Jándula, y termina señalando los distintos niveles de terrazas en cada uno de los ríos citados.

Por último, en el estudio geográfico del Valle del Guadalquivir, de Drain et al. (1971), se dedica un capítulo a la zona de terrazas. Distinguen dos niveles fundamentales: medio y superior. Se diferencian principalmente por la gran abundancia de gravas en este último. Sobre ambas terrazas, señalan la presencia de un suelo rojo, idéntico en apariencia, pero con diferencias mineralógicas en la fracción arcilla.

I.3 SUELOS DE TERRAZAS EN LA CUENCA MEDITERRANEA

En los últimos años ha aumentado considerablemente la bibliografía sobre génesis y propiedades de los suelos de la región mediterránea en general, y de los suelos de terraza de diferentes ríos mediterráneos, en particular. Quizás sean autores franceses los que han estudiado con mayor frecuencia la génesis de estos suelos, casi siempre en relación con la geomorfología de la zona de terrazas donde se desarrollan.

Ruellan (1966) encuentra en la mayor parte de los valles de Marruecos, sobre aluviones y coluviones cuaternarios, toda una serie de suelos isohúmicos subtropicales (Aubert, 1963). De estos suelos estudia las principales características, los factores edafogenéticos, los procesos de evolución (rubefacción, lavado, hidromorfía, etc.) y la clasificación.

Cointepas (1966) estudia los suelos pardos y rojos mediterráneos de Túnez y opina que el nivel más reciente sobre el que se encuentran estos suelos es el soltaniense. A partir de este período los suelos han sufrido otros procesos genéticos, que les han conducido al desarrollo de un perfil complejo. En este mismo país, Hubert (1967) estudia los suelos del valle del Oued Lill; describe los dos fenómenos más importantes en la génesis de dichos suelos: formación de un horizonte superficial húmifero y redistribución parcial de caliza en el perfil, con acumulación en profundidad. En las

terrazas más altas pone de manifiesto la existencia de un paleosuelo enterrado bajo un suelo más reciente, caracterizado por los mismos fenómenos edafogenéticos.

Tricart (1952), Boulaine (1956) y Gaucher (1959) han organizado alrededor de un esquema geomorfológico, la distribución geográfica de la naturaleza y grado de evolución de los suelos: los suelos más evolucionados están situados sobre las superficies más antiguas, con una regularidad que los casos excepcionales coinciden con recientes accidentes tectónicos, Bonnet (1953).

Esta relación entre geomorfología y edafología existe así mismo cuando se tratan de las terrazas fluviales. En este sentido, Rutten et al (1963), basándose en los trabajos anteriormente citados, establecieron seis niveles en el bajo Ródano, distribuidos de la siguiente forma:

- nivel 5: superficie final Villafranquiense
- nivel 4: superficie supuesta Günz
- nivel 3: superficie supuesta Mindel
- nivel 2: superficie supuesta Riss
- nivel 1: superficie Würm
- nivel 0: superficie moderna

El nivel Villafranquiense representa la superficie más elevada, recubierta por cantos rodados; el clima, bajo cuya influencia se efectuó el depósito puede ser caracterizado como un clima árido con precipitaciones masivas. Donde la superficie se ha conservado intacta,

se encuentra un suelo muy evolucionado que presenta, macroscópicamente, el perfil de un podsol, Rutten et Vigneron (1959). El nivel 4, supuesto Günz, representa una terraza alta donde se desarrollan suelos rojos mediterráneos lavados, Cabouat et Marcelin (1954). El perfil, donde dominan elementos gruesos silíceos, está profundamente descarbonatado, los silicatos hidrolizados y la matriz fina muy rubificada. Choubert et al. (1956) encuentran un paralelismo entre estas formaciones y las correspondientes al pluvial saletense de Marruecos. El nivel 3, supuesto Mindel, se correlaciona, según Choubert et al. (1956), con el amiriense de Marruecos. Sobre esta superficie se desarrollan suelos con un horizonte de descarbonatación sobre otro de acumulación de caliza, donde puede reconocerse una densa red de galerías fósiles rellenas por tierra de los horizontes superiores. En el nivel 2, supuesto Riss, se sitúan suelos con un horizonte superficial descarbonatado y la matriz fina fuertemente rubificada. Puede existir acumulación de caliza en forma de costra. La correlación con el Cuaternario marroquí hay que hacerla, según Choubert et al. (1956) y Gigout y Raynal (1959), con el tensiftense. El nivel 1, Würm, forma terrazas bajas con suelos poco evolucionados pardos o pardos calizos: no hay rubefacción ni hidrólisis, observándose un ligero lavado de caliza que a veces llega a esbozar una costra a unos 40 o 50 centímetros de profundidad. Las terrazas de este nivel pueden estar cubiertas por aluviones modernos en

el curso inferior de los ríos. Por último, el nivel 0 presenta los suelos aluviales con perfil poco evolucionado, Rutten et al. (1963).

Icole (1971) llevó a cabo un estudio de los suelos asociados a las terrazas de los grandes ríos del pie de monte norpirenaico, poniendo de manifiesto tres conjuntos pedológicos: 1) Suelos asociados a las terrazas del Würm y Riss, con perfiles pedológicos normales. 2) Paleosuelos desarrollados sobre aluviones del Mindel y del Cuaternario antiguo, que presentan perfiles truncados por la erosión y con fuerte rubefacción. 3) Litos superficiales y suelo actual de terrazas antiguas.

Estéoule (1964) ha publicado un trabajo sobre suelos formados en los aluviones recientes de la Vilaine, en los que domina el carácter hidromórfico que no impide, por el nivel relativamente bajo de la capa freática, la evolución de los horizontes superiores según la componente climática.

Bornand (1969) ha descrito las grandes características morfológicas, analíticas y edafogenéticas de los suelos desarrollados en los distintos niveles de terraza en la confluencia de los ríos Ródano e Isère (Francia). Concluye que la rubefacción ha sido un proceso generalizado y visible incluso en los suelos de terrazas bajas (Würm), aunque esté más acentuado en las terrazas medias (Riss y Mindel). En éstas, la rubefacción, el lavado y la alteración parecen ser los tres procesos responsables de la evolución de los suelos, no ma-

nifestándose la hidromorfía de ninguna forma. Por el contrario, en los niveles más altos (Günz y Villafranchiense), la rubefacción ha jugado un papel menos importante que los procesos de lavado y procesos secundarios de hidromorfía, que han cambiado el aspecto morfológico de los perfiles y el sentido de la evolución actual.

Bordas (1943) ha estudiado suelos rojos sobre terrazas del bajo Ródano. Encuentra un horizonte A rojo formado a partir del "diluvium" subyacente, en cuya base existe una zona de acumulación de caliza de neoformación. En la planicie de Mazam (Vaucluse) el espesor del suelo es mayor, distinguiéndose dos horizontes rojos, de los que el inferior es más arcilloso. Estos suelos se encuentran en fase de transformación, aún incompleta, de la roca madre (diluvium). Este mismo fenómeno de edafogénesis lo observa Bordas (1942) en la llanura de St. Christol (valle del Ródano).

Un trabajo muy interesante sobre suelos rojos en general es el realizado por Bottner y Lossaint (1967). Según estos autores, los suelos rojos se han desarrollado en superficies muy antiguas, como pueden ser las terrazas del final del Villafranchiense o Cuaternario antiguo. Después de su formación, han sufrido acciones meteóricas y biológicas sucesivas, resultando una superposición de caracteres de origen edafo y morfo-genético, por lo que presentan un perfil muy complejo.

En Provenza, Bonifay (1957) establece una relación estrecha, desde el Mindell-Riss al Würm, entre los suelos rojos y los bruscos cambios climáticos del Cuaternario. La rubefacción correspondería a las fases cálidas.

En las llanuras del Chélif (Argelia), Boulaine (1957, 1961) indica que las terrazas sucesivas están marcadas por dos procesos edáficos fundamentales, la descarbonatación, con formación de un horizonte calizo, y la rubefacción; la alteración más fuerte caracteriza las terrazas más antiguas.

En Marruecos, la cronología de las formaciones edáficas rojas sobre terrazas cuaternarias ha sido estudiada por Choubert (1948) y Choubert et al. (1956). Una fase importante de la rubefacción se siguió en el Mindell; el Riss está marcado por una formación de costras calizas; el Würm se caracteriza por un coluvionamiento importante del material rubificado.

En España y Portugal, Lossaint y Bottner (1967) han constatado que en las terrazas del Villafranchense, se asientan suelos del tipo ferruginoso tropical (rañas); las superficies más jóvenes sostienen suelos rojos, pardos y vérticos.

En Italia, Ferrari y Magaldi (1968) realizan un estudio de los paleosuelos de Collecchio (cuaternario del valle del Po). Los autores hablan de una serie de paleosuelos sobre terraza fluvial del período mindeliense; el más antiguo se trata de un suelo fersialf-

tico lavado que ha sufrido una evolución durante el periodo interglaciar Mindell-Riss, mientras que el segundo debe ser interpretado como un suelo lavado con pseudogley, desarrollado a partir del Riss-Würm.

Así mismo en Italia, Wolf (1967), en la realización del mapa edafológico del valle alto del Fersina (Frente), describe y localiza las distintas asociaciones de suelos.

Finalmente, hay que indicar la casi seguridad de que la rubefacción ha sobrepasado los límites actuales del clima mediterráneo. En efecto, Marocke (1962) describe suelos rojos sobre depósitos aluviales del Rhin en Alsacia, en la época würmiense.

I.4 SUELOS DE TERRAZAS DEL GUADALQUIVIR

I.4.1 Datos climáticos

La provincia de Sevilla se encuentra atravesada de NE a SO por el Valle del Guadalquivir, cuya ladera norte es notablemente más abrupta que la del sur. Los vientos lluviosos marinos del SO, que penetran por la parte inferior del valle, se encuentran obligados a remontar la zona montañosa con la consiguiente formación de nubosidad y aumento de las precipitaciones, que de esta forma son más abundantes en la sierra que en las zonas del valle.

El valle cuaternario y la campiña son las áreas menos lluviosas, con precipitaciones medias anuales de 460 a 600 mm; Sevilla capital tiene una media de 559 mm. De cualquier forma, debido a la irregularidad que caracteriza el clima mediterráneo, estas cifras son poco significativas. Concretamente, en la última década han habido dos años que han superado los 1.000 mm y otros siete ha sido superior a los 559 mm de media. De acuerdo con la pluviosidad, se puede clasificar la campiña sevillana como zona seca-subhúmeda, según la clasificación de Thornthwaite, y con distribución de las precipitaciones a lo largo del año bastante irregular, siendo las máximas en los meses de Febrero-Marzo y Octubre-Noviembre. Estos dos periodos lluviosos están separados por una larga estación seca que dura desde Mayo-Junio a Septiembre (C.E.B.A.C.,

1962).

Este hecho es de la mayor importancia desde el punto de vista agrícola, ya que la ausencia de lluvias en este período ocasiona en toda la provincia, y particularmente en el valle, una gran falta de agua que oscila de unos 4.000 m³/Ha en las zonas frescas, a más de 6.000 m³/Ha en la zona más seca del valle. Así mismo importante es a la hora de considerar la evolución de los suelos.

El número de días despejados es equivalente al de nubosos, y bastante superior ambos al de los días cubiertos. La media es de 147, 152 y 66 días, respectivamente.

La temperatura máxima media sube de una manera regular desde 14° C en Enero hasta 39° C en Agosto. Las mínimas medias van desde 5° C a 20° C en el mismo período.

La humedad es bastante grande en invierno pero no así en verano, donde solo en contadas horas de la madrugada se registran humedades relativas superiores al 75 %.

Estas consideraciones, referidas a Sevilla capital, pueden aplicarse, con pequeñas variaciones, al resto del valle del Guadalquivir en la zona inmediata al río, con una tendencia al aumento de la humedad en la zona de marismas y a su disminución en la zona del interior.

I.4.2 Datos de vegetación

La vegetación del Valle del Guadalquivir corresponde al dominio climático del Oleo-Ceratonion (C.E.B.A.C., 1962). Este dominio corresponde a las zonas térmicas libres de heladas. Se extiende por terrenos de alturas inferiores a 400 metros en el norte del Guadalquivir y por todo el Valle Bético hasta el sur de la provincia donde alcanza casi los 1.000 metros de altura.

Aunque la vegetación potencial de la zona ha sido muy discutida, se estima que el Oleo-Ceratonion del Valle del Guadalquivir corresponde a un bosque mediterráneo si se exceptúan los saladeros y dunas litorales. El bosque natural estaría formado por encinas, alcornoques, acbuchos y algarrobos, siendo estos dos últimos exclusivos de esta zona térmica.

Este Oleo-Ceratonion es diferente al del resto del litoral español del Mediterráneo. Presenta una asociación especial, el Asparageto-Rhannetum que se caracteriza por una gran capacidad ecológica por tener una cierta indiferencia a la naturaleza química del sustratum. Se muestra como un matorral alto (2 o 3 m) impenetrable. El climax correspondiente sería el mismo matorral pero mucho más claro, con una cobertura arbórea cerrada del 90 al 100 %.

Dentro del dominio climático del Oleo-Ceratonion pueden distinguirse cinco subdominios:

Asparageto-Rhamnetum halimietosum

Asparageto-Rhamnetum cistetosum

Asparageto-Rhamnetum coridothymetosum

Asparageto-Rhamnetum a-chamaeropidetosum

Asparageto-Rhamnetum nirbeckietosum

Al Asparageto-Rhamnetum cistetosum corresponde la vegetación de la zona de estudio; este subdominio comprende las zonas de granito y pizarras del norte del Guadalquivir y las gravas cuaternarias potentes, ricas en limo, del sur del río.

Apenas quedan vestigios de lo que fué el bosque que estaba formado por Olea Europae, Quercus ilex y algunos Quercus suber. En la actualidad los restos del climax están formados por palmitares y lentiscares más o menos densos, definidos por la subasociación Asparageto-Rhamnetum cistetosum, representados por Cistus monspeliensis L., Cistus ladaniferus L., Genista hirsuta Vahl, Cistus salviifolius L. y Myrtus communis L. Estas plantas forman en etapas de mayor destrucción un jaral, el Genisteto-Cistetum ladaniferi, definido dentro de la subasociación Cistetosum monspeliensis que es la más térmica del jaral así formado.

Los pastizales son pobres y pertenecen a la alianza Thero-Brachypodium silicineum. Si son adecuadamente majadeados mejoran por el ingreso de Poa bulbosa L., Trifolium scabrum L., Trifolium Subterraneum L., etc.

En los bordes y márgenes del río, sobre suelos a veces inundados y siempre algo húmedos, aparecen bosques constituidos principalmente por especies de Populus y Salix. Fitosociológicamente, esta vegetación está incluida en el orden Populetalia albae y en la alianza Populion albae que en forma de bosques se extiende a lo largo de las vegas de los ríos mediterráneos.

La mayoría de las alamedas naturales han sido taladas. En su lugar aparecen los zarzales del Rubion ulnifolii. Esta vegetación de la vega cambia radicalmente al pasar a la zona de marismas. (C.E.B. A.C., 1962).

I.4.3 Suelos

Dentro de los estudios edafológicos sobre las terrazas del Guadalquivir, tienen un gran interés los realizados por el C.E.B.A.C. dentro de los estudios agrobiológicos de las provincias de Sevilla (1962) y de Córdoba (1971), donde se reconocen y describen las diferentes formaciones edáficas presentes sobre dichas terrazas. Así mismo, hay que citar estudios sobre algún tipo de suelo en particular, tales como los de Bellinfante et al. (1970), Paneque y Mudarra (1966) y otros, así como los de evaluación de De la Rosa (1972). Actualmente, es de destacar el estudio de Mudarra, en preparación, sobre la edafología de la Cuenca del río

Guadalquivir.

Basándose en estos trabajos, principalmente en el estudio agrobiológico de la provincia de Sevilla, y en el reconocimiento previo de campo, puede comentarse y describirse los principales tipos de suelos desarrollados sobre estas terrazas.

La edafología del valle Bético queda definida por la naturaleza caliza y sedimentaria de sus materiales. Los suelos se encuentran situados, en general, sobre una topografía llana. Son de una policromía variada, grises, pardos, rojos, y de estructura, textura y profundidad diferentes.

Siguiendo un orden geográfico, se encuentran en las terrazas los siguientes tipos, (C.E.B.A.C., 1962):

- Aluviales
 - a) vega indiferenciada
 - b) vega caliza
- Pardo-rojizo
- Rojo sobre travertino
- Pardo lavado
- Pardo lavado hidromorfo
- Vertisuelo (Tierra negra andaluza)
- Arenoso con hidromorfía
- Rojo con gravas
- Arenoso con pseudogley
- Rojo sobre caliza detrítica

Suelos aluviales

- a) Vega indiferenciada.- Constituye las márgenes del río y está sujeta a inundaciones periódicas. Son suelos formados por sedimentos jóvenes que no han sufrido aún ninguna transformación y siguen depositándose en la actualidad.
- b) Vega caliza.- Comprende suelos jóvenes constituidos por sedimentos poco transformados. En ellos se puede apreciar un principio de diferenciación de horizontes que forman un perfil del tipo AC. La morfología y composición del horizonte A está grandemente influenciada por las labores y cultivos, por lo que en realidad se trata de un horizonte Ap.

Son suelos de profundidad media, de poca descomposición química y de uniforme contenido en carbonato cálcico. La estructura es granular a grumosa fina y la textura va desde arenosa a limo-arcillosa. Tienen buena porosidad, color pardo a pardo-rojizo y pH alcalino.

Estos suelos son fértiles y de fácil transformación en regadío. Están dedicados a huertas, plantas industriales, frutales, cítricos, etc.

Suelos pardo-rojizos

Estos suelos ocupan principalmente la segunda terraza del río. En ellos se observa una diferenciación de horizontes con límites difusos y graduales

que constituyen un perfil del tipo ABCaC.

Son de estructura grunosa a poliédrica subangular y de textura limoarenociliosa. El suelo es bastante profundo, permeable y uniformemente calizo, existiendo un horizonte de acumulación de carbonatos que forman nódulos y concreciones. Bajo estos horizontes suelen encontrarse a veces potentes mantos de gravas.

En general, estos suelos están dedicados al cultivo del olivo y cítricos.

Suelo rojo mediterráneo sobre travertino

Son suelos de color pardo-rojizo en superficie para hacerse rojo intenso en el horizonte B. A partir de aquí, el color pierde intensidad debido a la presencia de la caliza. Están desarrollados sobre caliza travertínica y presentan un perfil del tipo ABCaC. El horizonte A es poco profundo, ésto hace que se encuentre totalmente alterado por las labores. Es de textura limo-arenosa y de estructura grunosa media. Sigue un horizonte B de acumulación de sesquióxidos, de textura pesada y estructura poliédrica fuertemente desarrollada. Es un horizonte compacto, poco permeable y presenta clayskins en las caras de los agregados debido a la iluviación de la arcilla. A continuación, aparecen una serie de horizontes calizos con concreciones de carbonato cálcico. El color se hace menos intenso hasta llegar a un amarillo rojizo. La textura

es menos pesada y la estructura se encuentra menos desarrollada; todo ello hace que tengan una buena permeabilidad.

Se tratan de suelos de escasa proporción en materia orgánica y de pH neutro a ligeramente alcalino.

De una manera general se puede decir que su explotación de forma tradicional sigue siendo el olivar.

Suelo pardo lavado

Presentan un perfil del tipo ABC ó ABD en el caso de suelos complejos o poligenéticos. El horizonte A (casi siempre Ap), de unos 20 cm. de espesor, es de color pardo amarillento y pardo claro en seco, de textura arenosa y estructura particular suelta. El horizonte B no presenta una gran diferencia en cuanto al color. Sin embargo tiene un marcado enriquecimiento en arcilla y óxidos de hierro.

Lo diferencial en este suelo es el proceso de lavado, que se caracteriza por una movilización física de la arcilla a otras partes del perfil, pero sin comportar una alteración química profunda en su composición.

La causa del proceso de lavado hay que buscarla en la existencia de un humus ácido o bien, como sucede en suelos meridionales, en la existencia de minerales, la sílice, capaces de movilizar el hierro

formando compuestos ferrisilícicos y peptizando los coloides argílicos, (Duchaufour, 1970).

En lugares húmedos, los suelos pardos lavados pueden dar lugar a fenómenos de hidromorfismo.

Suelo pardo lavado hidromorfo

Las condiciones de formación y desarrollo de los suelos hidromorfos son las de un drenaje malo, topografía casi llana y roca madre muy poco permeable. Los suelos con horizontes ricos en materiales finos son también adecuados para el desarrollo de fenómenos de hidromorfismo porque se produce, igualmente, un estancamiento del agua en los periodos húmedos, que los poros finos del suelo son insuficientes para evacuar fácilmente por gravedad.

El perfil tipo es ABg o AgB; es decir, incorporan un nuevo horizonte denominado g. Este horizonte presenta manchas grises y rojizas muy ricas en óxidos de hierro, así como concreciones de color negro formadas por óxidos de hierro y manganeso. El horizonte corresponde a la zona de mayor estancamiento del agua.

A continuación aparece una zona de acumulación de carbonato cálcico (horizontes B/Ca o Ca/D) debajo del cual suelen aparecer mantos de grava, margas o sedimentos rojos de una terraza más antigua.

Existen variedades pedregosas de estos suelos.

Tierra negra andaluza

Aparece este tipo de suelo en zonas aisladas de terrazas antiguas ocupando terrenos de cotas bajas y llanos.

Se encuentra desarrollado sobre materiales ricos en arcilla de tipo montmorillonítico (margas y calizas margosas) y en menor extensión sobre sedimentos fluviales que han evolucionado de un modo especial hacia suelos negros.

Son suelos profundos, de color gris oscuro, llegando a negro en estado húmedo. La proporción de materia orgánica es baja y disminuye con la profundidad sin que desaparezca el color oscuro del perfil, lo cual nos indica que éste obedece al contenido en formas reducidas minerales y orgánicas. La textura es uniforme a lo largo de todo el perfil y es de naturaleza arcillosa; la estructura, poliédrica fuertemente desarrollada. El suelo se encuentra lavado de carbonatos en superficie. Con la profundidad aparecen puntos calizos hasta convertirse en nódulos. Existe una repartición uniforme de pequeñas concreciones ferro-mangosas.

Debido a la naturaleza y alta proporción de arcilla, retienen mucha humedad, mostrando a veces señales de gleyzación y casi siempre existen en el subsuelo condiciones reductoras más o menos intensas.

Arenosos con hidromorfía

En las depresiones originadas por los diversos arroyos que rompen la continuidad topográfica de las terrazas, se encuentran suelos constituidos por los sedimentos arenosos aportados por dichos arroyos.

En general son de textura arenosa en superficie y pesada en profundidad. Esto da lugar a un mal drenaje interno que provoca la existencia de fenómenos de hidromorfía.

Suelo rojo mediterráneo con gravas

Como una variedad de los suelos rojos mediterráneos, encontramos los pedregosos situados en las terrazas altas del río. Son de color rojo amarillento uniforme en todo el perfil. La textura es areno-limosa y la estructura, grunosa. El suelo presenta una buena permeabilidad por lo que está lavado. No da reacción de carbonatos salvo en las aisladas concreciones calizas que aparecen en los horizontes inferiores.

Lo característico del suelo es la abundancia de gravas en superficie. Son de tamaño muy variado y tanto éste como la cantidad disminuyen rápidamente con la profundidad.

Suelo arenoso con pseudogley

Los suelos arenosos con pseudogley se encuentran situados en las terrazas más altas del río. Dentro de ellos se pueden observar dos variedades en cuanto a la morfología del perfil. Una representa un típico pseudogley con perfil Apg. En la otra variedad, encontramos una discontinuidad litológica que nos permite pensar en un suelo complejo o poligenético de perfil ApB IIBgCaC IIIIB.

Tanto uno como otro, son suelos arenosos y extremadamente pobres en sustancias coloidales, en superficie. A continuación sigue un horizonte arenoso de color pardo amarillento, donde en algunos casos, empieza a manifestarse el pseudogley. A medida que se profundiza, el perfil va tomando un color abigarrado, con zonas rojas intensas y manchas grises verdosas y pardo amarillentas.

La capa superficial arenosa puede faltar a veces por erosión, quedando entonces al descubierto el horizonte amarillento más compacto.

El suelo es pobre en materia orgánica y no presenta reacción caliza alguna, salvo en los nódulos de carbonatos que se hallan en el horizonte inferior.

Suelo rojo sobre caliza detrítica

Las terrazas superiores del Guadalquivir conectan suavemente con los alcores constituidos por depósitos calizos del final del terciario.

Sobre estas calizas detríticas se han desarrollado unos suelos rojos poco profundos de perfil ABC. La poca profundidad de estos suelos y su fácil erosionabilidad permite que se encuentren afloramientos de la roca madre.

El horizonte A, cuando existe, es de color pardo rojizo. Lo normal es encontrar el horizonte B en superficie. Este horizonte es de color rojo intenso, de textura areno-arcillosa y estructura poco densa.

Los suelos son pobres en materia orgánica y lavados de caliza. Se dedican al cultivo de frutales, plantas de huertas y olivar.

I.4.4 Descripción de perfiles

Dentro de las diferentes formaciones edáficas presentes en las terrazas del Guadalquivir, se describen los perfiles más representativos:

PERFIL I "Vega"

Roca madre..... Sedimentos aluviales
 Geología..... Aluvial
 Topografía..... Llana
 Altitud..... 5-10 m.
 Drenaje externo..... Bueno
 Drenaje interno..... Medio
 Pedregosidad..... Nula
 Erosión..... Nula
 Agricultura..... Algodón

<u>Prof. (cm)</u>	<u>Horiz.</u>	<u>Descripción</u>
0 - 40	Ap	10 YR 5/3, pardo (s); areno-limosa; grumosa fina; duro (s); friable (h); no plástico (m); poros muy finos; permeable; calizo; raíces finas y medias; media actividad biológica; límite difuso.
40 - 70	(B) ₁	10 YR 6/3, pardo pálido (s); areno-limo-arcillosa; grumosa media moderadamente desarrollada; duro (s); friable (h); algo plástico (m); medianamente permeable; calizo; escasas raíces; baja actividad biológica; límite difuso.
70 - 110	(B) ₂	Mismas características que el anterior. Límite más claro.
110 - 150	C	10 YR 6/4, pardo amarillento claro (s); areno-arcillo-limosa; de grumosa a subpoliédrica; duro (s); friable (h); algo plástico (m); medianamente permeable; calizo; ninguna actividad biológica; algunas gravillas aisladas.

PERFIL II "San José"

Roca madre.....	Sedimentos fluviales
Geología.....	Aluvial
Topografía.....	Llana
Altitud.....	10 - 15 m.
Drenaje externo.....	Bueno
Drenaje interno.....	Bueno
Pedregosidad.....	Escasa
Erosión.....	Nula
Agricultura.....	Labores de secano

<u>Prof. (cm)</u>	<u>Horiz.</u>	<u>Descripción</u>
0 - 30	Ap	10 YR 5/4, pardo amarillento (s); 10 YR 4/4 (h); lino-arenosa fina; grumosa, media moderadamente desarrollada; duro (s); friable (h); no plástico (n); frecuentes poros muy finos; permeable; calizo; raíces escasas; media o baja actividad biológica; algunas gravas aisladas; límite muy difuso.
30 - 60	A/C	Iguales características que el anterior. Más poroso; Límite abrupto y plano.
60 - 125	IICCa	5 YR 5/8, rojo amarillento (h); franco-limoso subpoliédrica, moderadamente desarrollada; liger. duro (s); friable (h); adherente y liger. plástico (m); permeable; abundantes concreciones calizas; límite difuso.
125 -	IIC	10 YR 5/4, pardo amarillento claro (h); arenosa fina; de suelta a subpoliédrica; blando (s); friable (h); no adherente, no plástico (m); permeable; poros finos; calizo; menos concreciones calizas que el anterior.

PERFIL III "Cinbreño"

Roca madre.....	Caliza
Geología.....	Diluvial
Topografía.....	Ligeramente ondulada
Altitud.....	20 - 30 m.
Drenaje externo.....	Bueno
Drenaje interno.....	Bueno
Pedregosidad.....	Escasa
Erosión.....	Escasa
Agricultura.....	Olivar

<u>Prof. (cm)</u>	<u>Horiz.</u>	<u>Descripción</u>
0 - 20	Ap	5 YR 3/3 - 3/4, pardo rojizo oscuro; limo arenoso; grumosa a poliédrica subangular liger. desarrollada; friable; poroso; permeable; calizo; raíces finas y medias abundantes; media actividad biológica; algo húmedo; algo plástico; límite difuso e irregular.
20 - 32	ApB	5 YR 4/4, pardo rojizo; limo-arcilloso; grumosa a poliédrica subangular liger. desarrollada; friable; poroso; permeable; calizo; raíces finas escasas; escasa actividad biológica; algunas concreciones calizas pequeñas; alguna grava aislada; algo húmedo; algo plástico; límite difuso.
32 - 47	BCa ₁	5 YR 4/8, rojo amarillento; limo-arcilloso; grumoso a poliédrica subangular moder. desarrollada; friable; calizo; poroso; permeable; muy escasas raíces finas; escasa actividad biológica; algunas concreciones calizas gruesas (1,5-2 cm) heterométricas; algo húmedo; algo plástico; límite gradual.

.....//.....

.....//.....

<u>Prof. (cm)</u>	<u>Horiz.</u>	<u>Descripción</u>
47 - 90	BCa ₂	5 YR 5/8 - 6/8, rojo amarillento- - amarillo rojizo; limo-arcillo- - arenoso; poliédrica subangular bastante bien desarrollada; friable; poroso; permeable; muy calizo; algunas raíces finas; abundantes concreciones y nódulos calizos; algo húmedo; algo plástico; límite gradual e irregular.
90 - 140	BCCa	5 YR 5/8 - 4/8, rojo amarillento; limo-areno-arcilloso poliédrica sub- angular bien desarrollada; friable; poroso; permeable; muy calizo; abundantes concreciones y nódulos calizos (3-4 cm); algo húmedo; algo plástico; límite claro.
140 -	Ca	A partir de aquí aparece la caliza.

PERFIL IV "Atalayas"

Roca madre.....	Caliza travertínica
Geología.....	Diluvial
Topografía.....	Plana
Altitud.....	60 m.
Drenaje externo....	Bueno
Drenaje interno....	Medio
Pedregosidad.....	Sin piedras
Erosión.....	Escasa
Agricultura.....	Olivar

<u>Prof. (cm)</u>	<u>Horiz.</u>	<u>Descripción</u>
0 - 15	Ap	5 YR 5/8, rojo amarillento (s); 2,5 YR 3/4, pardo rojizo oscuro (h); limo-areno-arcillosa; grumosa media moder. desarrollada; friable; poroso; permeable; no calizo; muy escasa materia orgánica; raíces finas y medianas; escasa actividad biológica; límite claro.
15 - 35	B ₂	2,5 YR 4/6, rojo (s); 2,5 YR 3/6, rojo oscuro (h); arcillosa; poliédrica gruesa fuertemente desarrollada; muy firme; compacto; poco permeable; no calizo; brillo céreo en las caras de los agregados (clayskins); escasa actividad biológica; límite difuso.
35 - 45	B ₂ Ca ₁₁	5 YR 5/8, rojo amarillento; 5 YR 4/8 - 5/8, rojo amarillento (h); limo-arcilloso; estructura poliédrica subangular media, moder. desarrollada; de friable a firme; mediana permeabilidad; calizo; algunos nódulos calizos; límite muy difuso.
45 - 55	B ₂ Ca ₁₂	Igual al anterior con mayor número de concreciones y nódulos calizos.

.....//.....

....//....

<u>Prof. (cm)</u>	<u>Horiz.</u>	<u>Descripción</u>
55 - 70	B ₂ Ca ₂	5 YR 6/6 - 6/8, amarillo rojizo (s); 5 YR 4/8, rojo amarillento; lino- so franco; masiva; firme; liger. poroso; permeable; calizo; abun- dantes concreciones calizas; no hay actividad biológica; límite difuso.
70 - 85	B ₃ Ca ₃	7,5 YR 7/6, amarillo rojizo (s); 5 YR 5/8, rojo amarillento (h); li- moso franco; masiva; de firme a friable; algo poroso; permeable; calizo; con concreciones calizas; no hay actividad biológica.

PERFIL V "Pedregoso"

Roca madre.....	Sedimentos de terrazas
Geología.....	Cuaternaria
Topografía.....	Algo inclinada
Altitud.....	100 m.
Drenaje externo.....	Bueno
Drenaje interno.....	Bueno
Pedregosidad.....	Muy pedregoso (gravas)
Erosión.....	Media
Agricultura.....	Olivar

<u>Prof. (cm)</u>	<u>Horiz.</u>	<u>Descripción</u>
0-20	Ap	5 YR 6/6, amarillo rojizo; arenolimoso; grumosa; friable; poroso; permeable; débilmente calizo; abundantes raíces finas y medias; mediana actividad biológica; grava gruesa, media y fina abundante; límite claro y recto.
20-55	B	5 YR 5/6, rojo amarillento; limo-arcillo-arenoso; grumoso; friable; poroso; permeable; media actividad biológica; raíces medias y finas; grava abundante (1 a 3 cm de diámetro); no calizo; aisladas concreciones calizas; límite gradual.
55-	B/Ca	5 YR 5/8, rojo amarillento; limo-arcillo-arenoso; grumoso; friable; permeable; raíces escasas; húmedo; no hay actividad biológica; algunas gravillas; algunas concreciones calizas; débilmente calizo.

PERFIL VI "Mogollón"

Roca madre..... Sedimentos de terrazas
 Geología..... Cuaternario
 Topografía..... Plana
 Altitud..... 30 m.
 Drenaje externo..... Medio
 Drenaje interno..... Deficiente
 Pedregosidad..... Sin piedras
 Erosión..... Ligera
 Agricultura..... Olivar

<u>Prof. (cm)</u>	<u>Horiz.</u>	<u>Descripción</u>
0 - 10	Ap	10 YR 4/3 (h), 10 YR 5/4 (s), pardo amarillento; arenoso fino; gruno particular fina; moderadamente desarrollada; friable (h); duro (s); poros finos y medios; permeable; no calizo; ligeramente orgánico; mediana actividad biológica; contenido medio en raíces finas; límite diferenciado y ligeramente ondulado.
10 - 22	Ap _{2g}	7,5 YR 5/6; pardo fuerte (s); 7,5 YR 4/4 (h), con abigarramiento muy difuso; limo-arenoso; masiva (s); subpoliédrica fina, moderadamente desarrollada; poros finos y medios abundantes; no calizo; escasa actividad biológica; raíces muy finas y algunas gruesas en el límite inferior del horizonte; concreciones ferruginosas pequeñas, difusas y frecuentes; límite gradual ligeramente ondulado.
22 - 40	B _{1g}	10 YR 7/6 - 6/6, amarillo o amarillo parduzco (s); 10 YR 5/6, pardo amarillento (h); limo-arcillo-arenoso; poliédrica gruesa, de moderada a fuertemente desarrollada; friable(h) duro (s); algunos poros finos y

.....//.....

:....//....

<u>Prof. (cm)</u>	<u>Horiz.</u>	<u>Descripción</u>
		gruesos; algunas gravas y gravillas en el límite del horizonte; no calizo; medianamente permeable; algunos nódulos difusos (color pardo oscuro 10 YR 2/2); límite de claro a gradual, ligeramente ondulado.
40 - 70	IIB _{21g}	10 YR 5/6 (h), pardo amarillento; arcillo-arenoso; prismática gruesa, fuertemente desarrollada; grietas verticales de 1/2 a 1 cm de espesor que abarcan toda la profundidad de este horizonte y del siguiente; grietas finas, dando en la parte superior una subestructura prismática fina; los prismas mayores son de 30-40 cm de profundidad y un ancho medio de 10 cm; muy duro (s); muy firme y compacto (h); poco permeable; no calizo; concreciones ferruginosas frecuentes medianas y pequeñas; revestimientos de arcilla en las caras de los agregados; superficies lustrosas gravillas muy aisladas; límite difuso.
70 - 100	IIB _{22g}	Igual al anterior con mayor número de concreciones ferruginosas.
100 - 140	IIB _{23gCa}	10 YR 5/6, pardo amarillento (s); 10 YR 4/4 (h); arcillo-arenoso; prismática gruesa moderadamente desarrollada; grietas finas horizontales y verticales homogéneas; duro (s); firme (h); fractura algo subconcoidea; compacto; poco permeable; no calizo; bastantes concreciones calizas; superficies lustrosas; nódulos ferruginosos frecuentes, pequeños; límite difuso.
140 - 160	III C	5 YR 4/6 rojo amarillento; limo-arcilloso; poliédrica gruesa fuertemente desarrollada; duro (s); firme (h); compacto; poco permeable; no calizo; concreciones ferruginosas muy abundantes.

PERFIL VII "Serafin"

Roca madre..... Sedimentos aluviales antiguos
 Geología..... Cuaternario
 Topografía..... Llana
 Altitud..... 30 m.
 Drenaje externo..... Deficiente
 Drenaje interno..... Deficiente
 Pedregosidad..... Nula
 Erosión..... Nula
 Agricultura..... Viña

<u>Prof. (cm)</u>	<u>Horiz.</u>	<u>Descripción</u>
0 - 20	Ap ₁	10 YR-6/4, pardo amarillento claro (s); 7,5 YR 4/4 (h); arenosa; particular suelta; muy friable; muchos poros medios, discontinuos, caóticos, vesiculares y dendríticos; abundantes raíces finas y verticales; límite plano y gradual.
20 - 38	Ap ₂	7,5 YR 5/6, pardo fuerte con pequeñas manchas difusas; arenosa; grumo particular; muy friable (h); blando (s); muchos poros finos y medios con predominio vertical, tubulares y dendríticos; poca actividad biológica; no calizo; raíces comunes, finas y horizontales; límite gradual.
38 - 60	B	10 YR 5/6, pardo amarillento con puntos oscuros difusos; franco-arcillo-arenoso; masiva; friable (h); firme-duro (s); muchos poros discontinuos, finos y caóticos; algunas gravas finas aisladas; no calizo; muy escasas raíces finas y medias; límite plano gradual.

.....//.....

....//....

<u>Prof.(cm)</u>	<u>Horiz.</u>	<u>Descripción</u>
60 - 95	IIBg ₂₁	Abigarrado, 7,5 YR 5/6 + 10 YR 10/2, pardo fuerte + gris parduzco claro; arcillo-arenoso; prismática bien desarrollada; firme (h); ligeramente plástico y algo adhesivo (m); duro (s); cutans discontinuos y arcillosos en la superficie de los agregados; pocos poros muy finos y caóticos; algunas gravillas aisladas; no calizo; ninguna actividad biológica; pocas raíces medias horizontales; límite difuso.
95 - 115	IIBg ₂₂	Abigarrado; arcillosa; prismática media bien desarrollada; muy firme (h); plástico y algo adhesivo (m); duro (s); cutans continuos arcillosos y mangano-ferruginosos delgados; pocos poros finos y discontinuos; algunas gravillas aisladas y concreciones oscuras, blandas y pequeñas; no calizo; pocas raíces finas; límite neto y plano.
115 - 165	IIC/Ca	Abigarrado, 7,5 YR 5/6, pardo fuerte; arcillo-arenosa; poliédrica subangular media, moderadamente desarrollada; firme (h); duro (s); cutans zonales, delgados, arcillosos y ferro-mangánicos en las caras de los agregados; débilmente segmentado; pocos poros finos, discontinuos; algunas gravillas finas y medias; nódulos calizos abundantes, pequeños y grandes, blandos y duros; irregulares, esféricos y angulares, de color 10 YR 7/4 - 6/4, pardo muy pálido a pardo amarillento; algunas raíces medias; límite gradual a difuso o irregular.
165 - 200	III C	7,5 YR 5/6, pardo fuerte; franco-arcillo-arenoso; poliédrica-prismática de media a moderadamente desarrollada; algo friable (h); ligeramente duro (s); cutans zonales, arcillosos delgados y algunos oscuros ferruginosos; pocos poros; nódulos calizos pequeños, difusos, blancos y duros; no calizo.

PERFIL VIII "Tamarit"

Roca madre..... Sedimentos antiguos de terraza
 Geología..... Cuaternario antiguo
 Topografía..... Ligeramente inclinada
 Altitud..... 120 m.
 Drenaje externo..... Bueno
 Drenaje interno..... Deficiente
 Pedregosidad..... Nula
 Erosión..... Escasa
 Agricultura.....

<u>Prof. (cm)</u>	<u>Horiz.</u>	<u>Descripción</u>
0 - 25	Ap	10 YR 4/4, pardo amarillento oscuro con manchas difusas de color 10 YR 4/2, pardo-gris oscuro; arenosa; particular suelta (s); grumo particular poco desarrollada (h); friable (h); suelta (s); muchos poros muy finos, continuos y caóticos, in-ped; antrópico; no calizo; actividad biológica nula; raíces aisladas finas y medias; límite con penetraciones, ligeramente ondulado, nítido y brusco.
25 - 60	g ₁	10 YR 5/8, abigarrado difuso; arenosa; particular suelta; friable; muchos poros muy finos; escasas raíces finas; no calizo; pocas gravillas finas; manchas difusas 7,5 YR 5/6 - 5/8, pardo fuerte; límite plano y brusco.
60 - 110	g ₂₁	Abigarrado; arcillo-arenosa; duro (s); muy firme (h); algo plástico y algo adhesivo (m); cutans zonales muy finos y arcillosos; frecuentes restos de raíces muy finas dendríticas siguiendo el desarrollo de las caras de los agregados; pocos exped, planares y finos; no calizo.

.....//.....

....//....

<u>Prof.(cm)</u>	<u>Horiz.</u>	<u>Descripción</u>
110 - 160	g ₂₂	Mismas características que el g ₂₁ .
160 -	g ₂ Ca	10 YR 6/6, amarillo parduzco; arcillo-arenosa; prismática media y gruesa moderadamente desarrollada; firme (h); duro (s); plástico y adhesivo (m); porosidad igual al g ₂₁ ; no calizo; nódulos calizos aislados, no esféricos, irregulares y duros; límite con respecto al horizonte superior, gradual e irregular.

PERFIL IX "Vertisuelo"

Roca madre..... Sedimentos de terraza
 Geología..... Diluvial
 Topografía..... Llana
 Altitud..... 20 m.
 Drenaje externo..... Malo
 Drenaje interno..... Malo
 Pedregosidad..... Nula
 Erosión..... Nula
 Agricultura..... Algodón, cereales, leguminosas

<u>Prof.(cm)</u>	<u>Horiz.</u>	<u>Descripción</u>
0 - 30	Ap	10 YR 3/2 - 5/2 (h); arcillosa; gruesa fina-media, moderadamente desarrollada; friable (h); plástico y ligeramente adhesivo (m); duro (s); no cementación; poca porosidad; poros finos, vesiculares y caóticos in-exped; nódulos pequeños poco frecuentes; algunas gravas; no calizo; raíces finas, medias y gruesas; límite difuso y plano.
30 - 50	A/(B)	10 YR 4/2 (h); arcilloso; poliédrica subangular moderadamente desarrollada; muy friable (h); plástico y ligeramente adhesivo (n); duro (s); cutans zonales delgados y arcillosos; pocos poros finos caóticos, tubulares y discontinuos ex-ped; algunas gravillas muy finas; algunas concreciones calizas alóctonas; no calizo; subso-lado; actividad biológica moderada; raíces finas, medias y gruesas; límite difuso y plano.
50 - 100	(B) ₁	10 YR 4/2, (h); arcilloso; prismática mediana, bien desarrollada; friable (h); plástico y ligeramente adhesivo (n); duro (s); cutans discontinuos, delgados y arcillosos; pocos poros finos y medios discontinuos, caóticos

.....//.....

.....//.....

<u>Prof. (cm)</u>	<u>Horiz.</u>	<u>Descripción</u>
		in-exped; arenas gruesas y gravillas muy finas; nódulos ferruginosos redondeados oscuros; no calizo; muy pocas raíces finas y medianas; límite difuso y plano.
100 - 150	(B) ₂	10 YR 4/3 (h); manchas 10 YR 4/4; arcillosa; prismática mediana; friable a firme (h); plástica y ligeramente adhesivo (m); duro (s); cutans discontinuos, delgados y arcillosos; pocos poros finos, caóticos, in-exped; gravillas; nódulos ferruginosos redondeados, oscuros, muy pocos; concreciones calizas muy pocas; no calizo; escasa actividad biológica; pocas y finas raíces; límite difuso e irregular.
150 - 200	C	10 YR 4/4 con manchas 10 YR 4/1; arcilloso; aglomerada; firme (h); plástico y ligeramente adhesivo (m); duro (s); cutans zonales delgados y arcillosos; poros, muy pocos y finos; concreciones calizas frecuentes, redondeadas e irregulares de color pardo (10 YR 5/3); no calizo; actividad biológica, nula; pocas raíces medias y gruesas.

II. METODOS EXPERIMENTALES

II.1 DESCRIPCION MORFOLOGICA

Para la descripción y designación de los horizontes del perfil de suelo, se siguen las normas recogidas en las guías de la F.A.O. (1968). Dentro de cada horizonte se reconocen las siguientes propiedades: profundidad de la parte superior e inferior del horizonte; color en húmedo y seco, según el código Munsell (1954); textura; estructura; consistencia en mojado, húmedo y seco; presencia de cutanos; cementación (si existe); porosidad; pedregosidad; nódulos; actividad humana; actividad biológica; contenido de raíces; reacción y, finalmente, naturaleza del límite con el horizonte subyacente.

II.2 PREPARACION DE LA MUESTRA

II.2.1 Preparación de las muestras para el análisis químico del suelo

Se utilizan muestras de suelo secadas al aire, molidas y pasadas por tamiz de 2 mm.

II.2.2 Preparación de las muestras para el análisis mecánico

Este análisis se efectúa en muestras tamizadas sin materia orgánica ni carbonatos.

II.2.3 Eliminación de la materia orgánica

Ciento cincuenta o doscientos gramos de cada muestra se tratan con agua oxigenada al 6 % en vasos altos de 1 litro. El ataque se efectúa al baño maría, llevándose a cabo tantos tratamientos como sean necesarios hasta que el líquido que sobrenada quede claro.

II.2.4 Eliminación de carbonatos

Una vez eliminada la materia orgánica, se tratan las muestras con $\text{ClH N}/20$ hasta que una nueva adición no produzca desprendimiento de anhídrido carbónico. A continuación se lavan con agua destilada para eliminar el Cl_2Ca formado, controlando el final del lavado con nitrato de plata. Por último se secan las muestras.

II.2.5 Extracción de la arcilla

Eliminados la materia orgánica y los carbonatos, se hace una suspensión de suelo en agua destilada que se dispersa añadiendo amoniaco. Se agita y se deja reposar 16 horas. Al cabo de este tiempo, según la ley de Stockes, se separan de la suspensión las partículas menores de 2 micras (arcilla) sifonando 20 centímetros a partir de la superficie. A los líquidos de extracción se añaden unas gotas de ácido acético para flocular la arcilla. El proceso de extracción termina con el secado y molienda de la muestra.

II.3 DETERMINACIONES GENERALES DEL SUELO

II.3.1 Análisis mecánico

Se realiza en muestras de suelo tamizadas y sin materia orgánica ni carbonatos, empleando el método del hidrómetro de cadena (De Loenheer, Van Ruymbeke y Maes, 1955).

A las partículas del suelo, que se suponen de forma esférica aparente, se las ha clasificado en cuanto a tamaño de la siguiente forma, según la escala internacional:

arena gruesa.....	2	a 0,2	mm
arena fina.....	0,2	a 0,02	mm
limo.....	0,02	a 0,002	mm
arcilla.....	0,002	y menor	

II.3.2 Determinación de materia orgánica y carbono orgánico

Método de Walkley y Black (1934), consistente en la adición de dicromato y sulfúrico y valoración del exceso de dicromato con SO_4Fe .

El carbono orgánico se obtiene multiplicando por un factor constante la diferencia de los volúmenes gastados de SO_4Fe en la muestra y en un ensayo en blanco que se efectúa paralelamente.

II.3.3 Nitrógeno

Se sigue el método Kjeldahl modificado (Jackson, 1958). La muestra se trata con SO_4H_2 y con SO_4K_2 y SO_4Cu , valorando el destilado con SO_4H_2 N/14, usando como indicador verde de bromocresol.

II.3.4 Acidez

Se determina con un pH-metro en pasta de suelo saturada en agua, repitiéndose con pasta saturada en CLK (Hernando y Sánchez Conde, 1954).

II.3.5 Carbonatos

Con el calcímetro Bernard (Hidalgo y Candela, 1958).

II.3.6 Capacidad de cambio y cationes cambiables

(Schollenberger y Simón, 1945). Diez gr de suelo se tratan en tubos de centrífuga con 350-400 cc de acetato amónico en 7 u 8 alícuotas. Los extractos de acetato amónico se evaporan a sequedad para eliminar las sales amónicas (tratar con agua regia si es necesario). Finalmente, el residuo se extrae con 90 cc de agua destilada que contenga 1 cc de ClH concentrado. Se filtra sobre matraces aforados de 100 cc. En la solución se determinan Ca y Mg por complexometría (Schwarzenbach, 1959) y Na y K por fotometría de llama, expresándose los resultados en m.c.q./100 g.

El suelo saturado en NH_4^+ , lavado y secado al aire, es puesto en un matraz Kjeldahl para destilar el NH_3 . El destilado se recoge sobre ácido valorado cuyo exceso se valora con NaOH 0,1 N, empleando verde de bronocresol como indicador. Esta capacidad de cambio así determinada se expresa en m.e.q./100 g.

II.4 ANALISIS QUIMICO TOTAL

Se realiza el análisis químico total en las soluciones del suelo obtenidas por el método triácido (Dabin, 1966). Consiste en el ataque de 1 gr de suelo pasado por un tamiz de 2 mm de luz y socado al aire, por 25 cc de ClH concentrado y 25 cc de una mezcla $\text{SO}_4\text{H}_2\text{-NO}_3\text{H}$ en la proporción 2/3. Este tratamiento se repite si la disolución no ha sido satisfactoria. El ataque se efectúa sobre placa caliente hasta llevar a sequedad. El residuo se extrae con ClH diluido y filtrado. La sílice y el cuarzo quedan sobre el filtro mientras que los óxidos metálicos y las bases pasan en solución.

El precipitado que queda sobre el filtro se trata con NaOH al 2 % a 80° C con objeto de separar la sílice coloidal (SiO_2 de los silicatos) de la sílice cristalizada (cuarzo).

En la solución se ha determinado el Fe por absorción atómica (aparato Unicam SP90 y lámpara de Fe de cátodo hueco), Al y Ti por colorimetría (Sandell, 1950), Ca y Mg por complexometría (Schwarzenbach, 1959) y Na y K por fotometría de llama.

II.5 ESTUDIO MINERALOGICO DE LA FRACCION ARCILLA

II.5.1 Análisis químico total

Se sigue el mismo método que para el suelo (Dabin, 1966).

II.5.2 Análisis térmico diferencial

El análisis térmico diferencial se funda en el registro de los fenómenos exo y endotérmicos que tienen lugar en una muestra problema, comparándola con otra inerte cuando ambas se calientan en un horno a velocidad constante.

Del estudio de la intensidad y forma de los picos exo y endotérmicos, así como de su situación en la escala de temperaturas, pueden obtenerse informaciones valiosísimas sobre la naturaleza y propiedades de la arcilla. En la interpretación de los resultados se sigue la obra de Mackenzie (1970).

Para el estudio se utiliza un aparato AMINCO, No 4-4442 y registrador X-Y mod. 300.

Las condiciones de trabajo son:

Eje X.....	5 mV/pulgada
Eje Y.....	1 mV/pulgada
Amplificación.....	0,5°/pulgada
Velocidad de calentamiento.....	16 °/minuto
Voltaje de entrada al horno.....	50 a 115 V

II.5.3 Diagramas de difracción de rayos X

La naturaleza cristalina de los minerales de la arcilla hace posible su estudio por difracción de rayos X. El tamaño de los microcristales exige la utilización de los diagramas de polvo o Debye Scherrer, donde se supone que todos los planos hkl están representados y siempre existe el ángulo necesario para que se cumpla la ley de Bragg $n\lambda = 2d \sin \theta$, donde:

λ = longitud de onda

d = distancia entre dos capas sucesivas

θ = ángulo de incidencia de la radiación

En la actualidad existen muchos trabajos publicados en numerosos países sobre la naturaleza, composición y propiedades de la arcilla y aplicación de la técnica de rayos X para su estudio, existiendo un gran número de datos para la caracterización de estos minerales. En la interpretación de los diagramas de difracción se ha seguido la obra de Brown (1961) y las fichas ASTM (1966).

El aparato que se emplea es un difractómetro PHILIPS mod. PW 1010, con registrador PR 2210 y goniómetro PW 1050/25.

Las condiciones de trabajo son:

Tipo de diagrama.....	polvo
Radiación.....	Cu Ka, filtro de níquel
Tensión.....	36 kV
Intensidad.....	20 mA

Colimador de divergencia...	1°
Colimador de recepción.....	0,2°
Colimador de diferencia.....	1°
Tensión del detector.....	1600 V
Velocidad del goniómetro...	1°/min.
Velocidad del papel.....	400 mm/h
Zona explorada.....	2° a 63°

Para completar el estudio de rayos X, se realizan los diagramas de agregados orientados y saturados en Mg^{++} , así como diagramas de muestras solvatadas en glicerol. Finalmente, en algunas muestras que presentan dificultades de interpretación, se repiten los diagramas sobre muestra calentada a 350-400° C (para distinguir clorita de otros minerales hinchables) o sobre muestra sometida a un ataque ácido (para distinguir clorita de caolinita).

II.6 DETERMINACIONES QUIMICAS DE HIERRO

II.6.1 Hierro total

Se determina como se indica para el análisis químico total.

II.6.2 Hierro libre

La extracción del hierro libre se basa en el método Endredy (1963). Se parte de 500 mg de suelo tamizado que se tratan con 100 cc de solución TAMM (solución tampón a pH 3,25 de oxalato amónico - ácido oxálico). La suspensión se expone durante dos horas a la radiación ultravioleta de una lámpara de vapor de mercurio de 250 W. Una vez obtenida la solución, el hierro se determina por absorción atómica y se expresa en % de Fe_2O_3 .

II.6.3 Hierro amorfo

Se sigue el método que a continuación se expone, para los minerales amorfos en el suelo.

II.7 DETERMINACION DE MINERALES AMORFOS EN EL SUELO

Se sigue el método de Segalen (1968). Consiste en tratar las muestras de suelo tamizadas por 2 mm (500 mg) alternativamente con reactivos ácido (ClH 8N) y alcalino (NaOH 0,5 N). Estos tratamientos son repetidos 7 u 8 veces, permitiendo disolver los productos amorfos más rápidamente que los cristalinos. En cada tratamiento se determinan sílice, alúmina y hierro y se traza la curva acumulativa de los contenidos en elemento extraído.

Los valores buscados se obtienen al cortar el eje de ordenadas (donde se recogen los porcentajes de SiO_2 , Al_2O_3 y Fe_2O_3) con la prolongación de la tangente

a la curva.

Los resultados se expresan en % de SiO_2 , Al_2O_3
y Fe_2O_3 .

III. RESULTADOS EXPERIMENTALES
Y
COMENTARIOS

III.1 DETERMINACIONES QUIMICAS GENERALES : MATERIA ORGANICA,
REACCION, CARBONATOS, CAPACIDAD DE CAMBIO DE BASES Y
CATIONES DE CAMBIO

De acuerdo con los resultados obtenidos y expuestos en la tabla 1 se puede indicar que los suelos estudiados son pobres en materia orgánica. Cinco perfiles (IV, V, VI, VII, VIII) tienen porcentajes menores a 1 %; dos (II, IX) 1 %; y otros dos (I, III) superan el 1 % sin sobrepasar el 1,5 %. Los valores de C y N son bajos y descienden sensiblemente con la profundidad, sobre todo el contenido de C. Las relaciones C/N son igualmente bajas, en ningún suelo sobrepasa esta razón el valor de 10, y sólo en el perfil VI se alcanza éste. Interesante es la elevación brusca que sufre la razón C/N en el perfil II, donde el horizonte más profundo (IIC) tiene un valor de 11,5, que es el más alto del conjunto de muestras estudiadas.

Los bajos contenidos en materia orgánica y los valores de las razones C/N están de acuerdo con las condiciones ambientales y la dedicación de estos suelos.

La reacción es en general neutra, variando de ligeramente ácida (horizontes arenosos) a ligeramente básica (horizontes calizos). Concretamente, los valores de pH en agua están comprendidos entre 6,0 y 8,3, y entre 5,0 y 7,0 los determinados en ClK.

A juzgar por los valores bajos de la razón C/N y por los datos de pH, teniendo en cuenta que además la capacidad de cambio de estos suelos se encuentra altamente saturada en bases, como se mostrará más adelante, puede pensarse que el humus predominante debe ser mull, mesotrofo y eutrofo.

Los perfiles de la zona estudiados son en general calizos. No obstante, en algunos casos se encuentran notables diferencias en los contenidos en carbonatos entre los horizontes de un mismo perfil, mientras que en otros, existe una distribución prácticamente uniforme.

Así, por ejemplo, los suelos rojos (perfiles IV y V) presentan horizontes superficiales desprovistos de caliza y horizontes profundos de acumulación (horizontes Ca). En la tabla 1 se pueden observar estas diferencias en el perfil IV, en el que se encuentra 0 % de carbonatos en los horizontes Ap y B y valores superiores al 50 % en los B/Ca.

TABLA 1

Contenido en materia orgánica, relación C/N y pH

Perfil	Hori- zonte	% en el suelo			C/N	pH		% CO ₃ ⁼
		M.O.	C	N		H ₂ O	CLK	
I	Ap	1,50	0,87	0,09	9,6	7,6	6,9	21,6
	(B) ₁	1,00	0,58	0,07	8,2	7,9	6,9	16,0
	(B) ₂	0,29	0,17	0,02	8,5	7,9	6,9	27,0
	C	0,69	0,40	0,04	10,0	7,7	6,7	26,0
II	Ap	1,00	0,58	0,07	8,2	8,0	7,0	6,0
	A/C	0,00	0,00	0,00	0,0	8,0	6,9	3,6
	IICCa	0,08	0,05	0,01	5,0	8,0	7,4	36,0
	IIC	0,79	0,46	0,04	11,5	8,1	7,0	32,0
III	Ap	1,10	0,64	0,09	7,1	6,9	6,1	12,2
	ApB	0,83	0,84	0,06	8,0	7,1	6,2	17,7
	BCa ₁	0,47	0,27	0,05	5,4	7,5	6,6	16,2
	BCa ₂	0,26	0,15	0,02	7,4	7,6	6,6	51,4
	BCCa	0,10	0,06	0,02	3,0	7,8	6,9	30,9
IV	Ap	0,81	0,47	0,05	9,4	7,1	6,2	0,0
	B ₂	0,66	0,38	0,06	6,3	7,4	6,5	0,0
	B ₂ Ca ₁₁	0,48	0,28	0,04	7,0	7,5	6,5	51,0
	B ₂ Ca ₁₂	0,28	0,16	0,02	8,0	7,6	6,6	60,3
	B ₃ Ca ₃	0,10	0,06	0,01	6,0	7,7	6,7	57,8

.....//.....

.....//.....

T A B L A 1 (continuación)

Perfil	Hori- zonte	% en el suelo			C/N	pH		% CO ₃ ⁼
		M.O.	C	N		H ₂ O	ClK	
V	Ap	0,59	0,34	0,04	8,7	6,8	5,9	0,4
	B	0,24	0,14	0,02	7,0	6,9	6,0	0,0
	B/Ca	0,10	0,06	0,01	6,0	6,8	5,9	0,0
VI	Ap ₁	0,53	0,31	0,03	10,3	6,4	5,7	0,4
	Ap ₂	0,12	0,07	0,02	3,5	6,3	5,4	0,4
	A ₃ B ₁ g	0,16	0,10	0,02	5,0	6,2	5,3	0,4
	B ₂ ₁ g	0,18	0,10	0,03	3,3	6,0	4,8	0,4
	B ₂ ₂ g	0,17	0,13	0,04	3,2	7,0	6,2	0,8
	B/Ca ₁	0,00	0,00	0,00	0,0	7,6	6,7	0,8
	B/Ca ₂	0,00	0,00	0,00	0,0	7,7	6,7	0,8
	VII	Ap ₁	0,50	0,29	0,04	7,2	6,0	5,0
Ap ₂		0,00	0,00	0,00	0,0	6,7	5,5	0,4
B		0,24	0,14	0,02	7,0	5,6	4,7	1,2
II Bg ₂ ₁		0,29	0,17	0,02	8,5	6,0	5,0	0,8
II Bg ₂ ₂		0,19	0,11	0,01	11,0	7,0	5,7	0,8
II CCa		0,40	0,23	0,02	11,5	7,7	6,3	1,2
III B		0,24	0,14	0,02	7,0	7,8	6,3	2,0
+ 2m		0,64	0,37	0,04	9,3	7,7	6,2	6,4

.....//.....

.....//.....

TABLA 1 (continuación)

Perfil	Horizonte	% en el suelo			C/N	pH		% CO ₃ ⁼
		M.O.	C	N		H ₂ O	CLK	
VIII	Ap	0,50	0,29	0,03	9,6	8,3	7,2	0,4
	g ₁	0,50	0,29	0,04	7,2	8,3	7,2	0,4
	g ₂₁	0,74	0,43	0,04	10,7	7,9	6,6	0,8
	g ₂₂	0,24	0,14	0,02	7,0	7,9	6,6	0,4
	g ₂ Ca	0,40	0,23	0,02	11,5	8,2	6,8	1,2
IX	Ap	1,00	0,58	0,06	9,3	7,8	5,7	0,8
	A(B)	0,50	0,29	0,03	9,6	7,3	5,8	1,6
	(B) ₁	0,69	0,40	0,04	10,0	7,6	6,1	1,2
	(B) ₂	0,50	0,29	0,03	9,7	7,9	6,3	1,2
	C	0,03	0,02	0,01	2,0	7,8	6,5	1,2

El lavado y acumulación de carbonatos no es tan acusado en los suelos de terrazas más jóvenes, como son los perfiles I, II y III. A pesar de ello, el perfil III muestra contenidos de carbonatos comprendidos entre 12 y 17 % en los horizontes superiores y alcanza hasta 51 % en el horizonte B/Ca₂; así mismo, en el perfil II (vega diferenciada) el contenido en carbonatos es del orden de 6 % en el Ap y superior a 35 % en los horizontes más profundos. Por el contrario, el suelo de vega (perfil I) muestra gran uniformidad en la distribución de caliza.

Por último, existe un conjunto de suelos, entre los que se encuentran el perfil de tierra negra y los de pseudogleys (perfiles IX, VI, VII y VIII, respectivamente), con muy bajo contenido en carbonatos, pues ninguna muestra supera el 1,5 %, si se exceptúa el horizonte más profundo del perfil VII. Sin embargo, hay que hacer notar que aunque la masa del suelo está descarbonatada, existen horizontes donde se acumula el carbonato cálcico en forma de concreciones, como se indica en la descripción.

La tabla 2 contiene los resultados de las determinaciones de capacidad de cambio de bases (T) y cationes de cambio (S) de los suelos, así como el grado de saturación (V) en bases de los mismos.

Como se sabe, los valores de la capacidad de cambio de los suelos, varían de acuerdo con el contenido y naturaleza de la fracción fina, ya que la arcilla es

la principal responsable de dichos valores, en muestras desprovistas de materia orgánica. Puede comprobarse cómo el perfil de tierra negra (perfil IX) representa el suelo con capacidad de cambio de cationes más elevada (valores comprendidos entre 43,0 y 44,5 m.e.q./100 gr), de acuerdo con su textura arcillosa y predominante naturaleza montmorillonítica de los minerales, como se comentará más adelante.

Así mismo, la correlación entre el contenido de arcilla y la capacidad de cambio de bases se pone de manifiesto dentro de un mismo perfil al comparar los valores obtenidos para distintos horizontes. En el suelo rojo (perfil IV), el valor de T en el horizonte B textural es de 33 m.e.q./100 gr frente a 10-15 m.e.q./100 gr en el resto del perfil. Análoga variación se observa en los perfiles de pseudogleys con acumulación de arcilla en profundidad (perfiles VI, VII y VIII). En efecto, frente a valores para T de 4 a 7 m.e.q./100 gr en los horizontes arenosos superficiales, los horizontes profundos arcillosos tienen una capacidad de cambio de bases comprendida entre 23 y 25 m.e.q./100 gr.

El suelo rojo de la terraza más alta (perfil V) presenta pequeña capacidad de cambio de bases, del orden de 4 a 6 m.e.q./100 gr; estos valores bajos encuentran justificación cuando se consideran los constituyentes de dicho suelo en relación con la evolución del mismo. Por otro lado, encuentran también justificación los valores semejantes de T para los distintos

horizontes de los suelos de vega (perfiles I y II) y pardo rojizo (perfil III); en este último puede apreciarse un valor algo más alto de capacidad de cambio de cationes en el horizonte Ap/B (13 m.e.q./100 gr frente a 10 en el resto de los horizontes del perfil), lo cual puede indicar un comienzo de diferenciación del mismo.

Si bien pueden observarse diferencias en los valores de la capacidad de cambio de cationes que presentan los distintos suelos estudiados, todos ellos ofrecen como característica común un alto grado de saturación en bases. En efecto, si se exceptúan los horizontes superficiales y subsuperficiales del perfil IX y los subsuperficiales de los perfiles VI, VII y VIII, todos los restantes muestran un grado de saturación V prácticamente total. El Ca^{++} es el catión de cambio predominante, alcanzando la razón $\text{Ca}^{++}/\text{Mg}^{++}$ de cambio valores de hasta 10. Na^+ y K^+ se encuentran siempre en muy pequeña proporción, excepto en el perfil VIII en el que el Na^+ de cambio aumenta con la profundidad hasta alcanzar la proporción de 8 m.e.q./100 gr en el horizonte $g_2\text{Ca}$.

TABLA 2

Capacidad de cambio y grado de saturación

Perfil	Hori- zonte	m.e.q./100 gr					Ca ⁺⁺		S	T-S	V
		T	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Mg ⁺⁺				
I	Ap	12,60	1,00	0,40	8,16	3,04	2,68	12,60	0,00	100,00	
	(B) ₁	10,50	0,70	0,32	7,48	2,00	3,74	10,50	0,00	100,00	
	(B) ₂	10,10	0,80	0,32	6,82	2,16	3,16	10,10	0,00	100,00	
	C	14,80	1,00	0,44	10,24	3,12	3,28	14,80	0,00	100,00	
II	Ap	10,00	0,70	0,40	6,66	2,24	2,97	10,00	0,00	100,00	
	A/C	7,50	0,60	0,22	5,24	1,44	3,64	7,50	0,00	100,00	
	IICCa	7,00	0,70	0,20	3,54	2,56	1,38	7,00	0,00	100,00	
	IIC	6,50	0,50	0,12	2,92	2,96	0,99	6,50	0,00	100,00	
III	Ap	10,20	0,00	0,96	7,00	2,24	3,13	10,20	0,00	100,00	
	ApB	13,00	0,20	0,52	11,56	0,72	16,05	13,0	0,00	100,00	
	BCa ₁	10,80	0,20	0,28	9,20	1,12	8,21	10,8	0,00	100,00	
	BCa ₂	7,90	0,20	0,16	6,58	0,96	6,85	7,9	0,00	100,00	
	BCCa	10,00	0,10	0,22	8,32	1,36	6,12	10,0	0,00	100,00	

.....//.....

T A B L A 2 (Continuación)

Perfil	Hori- zonte	m.e.q./100 gr					Ca ⁺⁺	S	T-S	V
		T	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Mg ⁺⁺			
IV	Ap	13,70	0,30	0,32	11,32	1,76	6,43	13,70	0,00	100,00
	B ₂	33,00	0,30	0,40	29,50	2,80	10,53	33,00	0,00	100,00
	B ₂ Ca ₁₁	15,30	0,30	0,20	12,80	2,00	6,40	15,30	0,00	100,00
	B ₂ Ca ₁₂	12,00	0,20	0,20	9,60	2,00	4,80	12,00	0,00	100,00
	B ₂ Ca ₂	10,20	0,20	0,16	7,92	1,92	4,13	10,20	0,00	100,00
	B ₃ Ca ₃	12,00	0,00	0,20	9,80	2,00	4,90	12,00	0,00	100,00
V	Ap	4,70	0,20	0,04	3,90	0,56	6,96	4,70	0,00	100,00
	B	5,30	0,20	0,04	4,26	0,80	5,33	5,30	0,00	100,00
	B/Ca	4,30	0,30	0,04	3,00	0,96	3,13	4,30	0,00	100,00
								//.....	

T A B L A 2 (Continuación)

Perfil	Horizonte	n.e.q./100 gr					Ca ⁺⁺	S	T - S	V
		T	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Mg ⁺⁺			
VI	Ap ₁	5,38	0,40	0,12	3,86	1,00	3,86	5,38	0,00	100,00
	Ap _{2g}	6,87	0,40	0,04	4,52	1,28	3,53	6,24	0,63	90,80
	B _{1g}	10,15	0,45	0,06	6,20	1,80	3,44	8,51	1,64	83,80
	II B _{21g}	22,73	0,80	0,11	11,88	3,68	3,23	16,47	6,26	72,50
	II B _{22g}	25,66	1,70	0,14	20,20	3,62	5,58	25,66	0,00	100,00
	II B _{3gCa}	24,54	1,40	0,02	20,20	2,92	6,92	24,54	0,00	100,00
	III C	25,34	1,80	0,14	20,00	3,40	5,88	25,34	0,00	100,00
VII	Ap ₁	4,00	0,20	0,12	2,66	1,00	2,66	3,98	0,02	99,50
	Ap ₂	5,50	0,40	0,12	3,92	0,96	4,08	5,40	0,10	98,18
	B	10,70	0,20	0,10	6,52	1,64	3,98	8,46	2,24	79,06
	II Bg ₂₁	23,60	0,60	0,20	15,22	3,68	4,14	19,70	3,90	83,47
	II Bg ₂₂	23,30	0,60	0,20	17,60	4,00	4,40	22,40	0,90	96,13
	II CCa	25,10	1,20	0,28	18,74	4,88	3,84	25,10	0,00	100,00
	III C	19,90	1,30	0,26	14,90	3,44	4,33	19,90	0,00	100,00
	+ 2 n	24,30	1,50	0,32	18,48	4,00	4,62	24,30	0,00	100,00

.....//.....

T A B L A 2 (Continuación)

Perfil	Hori- zonte	n.e.g./100 gr					$\frac{Ca^{++}}{Mg^{++}}$	S	T-S	V
		T	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺				
VIII	Ap	5,80	0,00	0,04	5,20	0,56	9,28	5,80	0,00	100,00
	g ₁	4,30	0,10	0,04	3,30	0,30	11,20	3,80	0,50	88,37
	g ₂₁	23,70	1,70	0,20	18,48	1,84	10,04	22,22	1,48	93,75
	g ₂₂	17,00	3,00	0,16	11,68	2,16	5,41	17,00	0,00	100,00
	g _{2Ca}	21,10	8,00	0,20	9,74	3,16	3,08	21,10	0,00	100,00
IX	Ap	44,00	0,40	1,08	28,00	8,56	3,27	38,04	5,96	86,45
	Ap(B)	43,50	0,70	0,68	26,80	9,44	2,83	37,62	5,88	86,48
	(B) ₁	44,50	1,00	0,68	27,36	10,16	2,62	39,20	5,30	88,09
	(B) ₂	43,00	1,20	0,52	30,72	10,56	2,91	43,00	0,00	100,00
	C	44,50	1,10	0,50	32,65	10,25	3,18	44,50	0,00	100,00

III.2 ANALISIS GRANULOMETRICO

La tabla 3 contiene los resultados del análisis granulométrico realizado en cada uno de los horizontes de los suelos estudiados; los datos correspondientes se han materializado en el diagrama triangular de texturas que representa la figura 1.

Atendiendo sólo a los horizontes superficiales, los suelos estudiados pueden clasificarse, según su textura, del modo siguiente: los perfiles I, III y IV son limo-arcillo-arenosos; los II y VI, francoarenosos; los VII y VIII, arenosos; el V, areno-franco; y el IX arcilloso.

El perfil I muestra una manifiesta semejanza granulométrica en los horizontes Ap y (B), mientras que el horizonte C presenta un mayor contenido de arcilla (35 % frente a 23-26 % en los superiores).

El perfil II puede dividirse claramente en dos partes, atendiendo a los contenidos en arena gruesa y arcilla. Los horizontes Ap y A/C poseen porcentajes de arena gruesa comprendidos entre 15 y 17 % y de arcilla, entre 10 y 16 %; los más profundos muestran, respectivamente, 1,5-4,0 % y 23,5-28,0 %. Esto parece indicar, más que un lavado de arcilla, cierta discontinuidad litológica, por procesos de sedimentación.

El perfil III, que se encuentra situado en la primera terraza, presenta bastante uniformidad

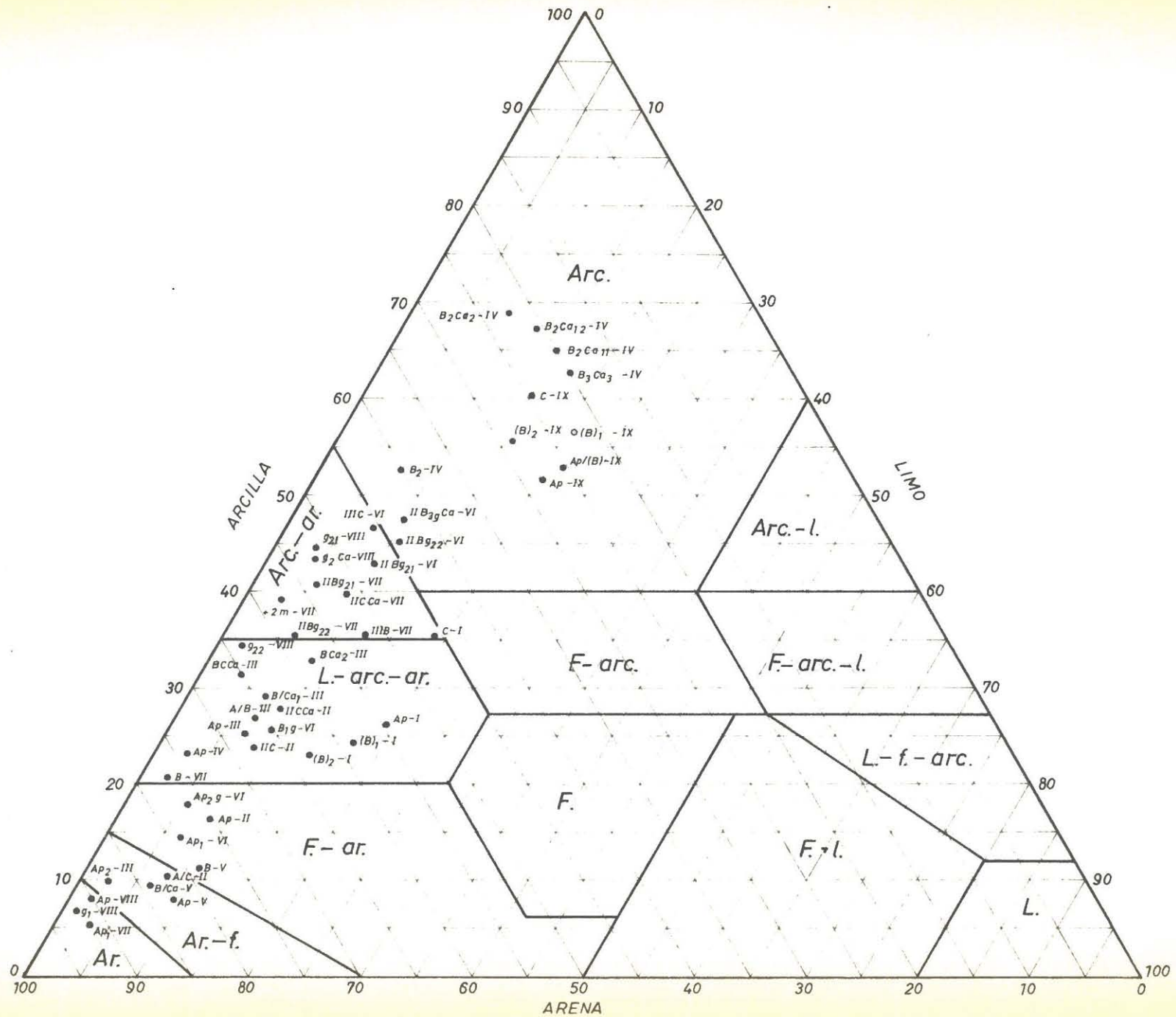


Figura 1

granulométrica. De todas formas puede apreciarse un ligero aumento de arcilla en los horizontes más profundos.

El perfil IV ofrece un gran contraste textural entre el horizonte Ap y los horizontes subyacentes, con un índice de lavado de arcilla B/Ap mayor de 2. Al mismo tiempo el horizonte Ap superficial contiene mayor proporción de arena gruesa y fina que el resto de los horizontes del perfil, por lo que podría pensarse en aportes arenosos de terrazas superiores.

El perfil V, suelo rojo de terraza alta, ha sufrido un intenso proceso de lavado, por lo que el contenido en elementos finos es muy bajo. Puede apreciarse acumulación de arcilla en el horizonte B, con un índice de lavado B/Ap de aproximadamente 1,4.

Los perfiles VI y VII ofrecen un contraste textural muy marcado entre los horizontes B subsuperficiales y los Bg profundos. Mucho más acentuada es esta diferencia textural en el perfil VIII, donde se pasa de 8 y 7 % de arcilla en los horizontes Ap y g₁ a 43 % en el g₂₁.

Finalmente, el perfil IX muestra una gran uniformidad granulométrica, como puede apreciarse en la tabla correspondiente. Sin embargo, conviene resaltar que, aún mostrando todos los horizontes un alto contenido en arcilla (superior al 50 %), ésta aumenta ligeramente con la profundidad, alcanzando el 60 % en el horizonte C.

Para una mayor facilidad de comparación, las figuras 2 a 6 representan las gráficas lineales de la composición granulométrica de los horizontes de cada perfil.

T A B L A 3
Análisis mecánico

Perfil	Horizonte	Arena gruesa	Arena fina	Limo	Arcilla
I	Ap	1,82	52,56	18,70	26,00
	(B) ₁	2,10	56,69	16,85	24,05
	(B) ₂	1,25	61,62	13,25	22,50
	C	0,82	42,97	18,90	34,95
II	Ap	14,95	59,81	8,55	16,00
	A/C	16,85	65,27	7,45	10,07
	II C Ca	3,74	58,84	7,75	27,85
	II C	1,52	66,22	8,05	23,45
III	Ap	23,08	24,05	7,10	23,30
	Ap/B	24,36	42,42	8,05	23,95
	B/Ca ₁	21,19	42,25	8,25	26,70
	B/Ca ₂	12,98	44,13	9,60	31,65
	BC/Ca	13,21	51,91	6,15	29,10

.....//.....

.....//.....

TABLA 3 (continuación)

Perfil	Horizonte	Arena gruesa	Arena fina	Limo	Arcilla
IV	Ap	28,90	44,12	2,75	23,54
	B ₁	15,39	24,60	7,12	52,77
	B ₂ Ca ₁₁	5,30	14,24	15,10	65,30
	B ₂ Ca ₁₂	5,12	14,83	13,62	66,60
	B ₂ Ca ₂	6,43	15,62	8,20	68,60
	B ₃ Ca ₃	2,82	17,47	15,85	62,58
V	Ap	49,48	32,47	9,20	8,80
	B	40,20	38,50	9,80	11,50
	B/Ca	33,50	50,00	9,00	7,50
VI	Ap ₁	34,20	44,70	6,40	14,70
	Ap _{2g}	33,10	43,30	6,70	16,90
	B _{1g}	33,10	32,50	8,90	25,50
	IIB _{21g}	20,40	27,80	9,20	42,60
	IIB _{22g}	17,30	27,00	10,50	45,20
	IIB _{3g} Ca	14,87	26,74	9,10	46,80
	III C	14,26	31,00	7,65	46,10

.....//.....

.....//.....

T A B L A 3 (continuación)

Perfil	Horizonte	Arena gruesa	Arena fina	Limo	Arcilla
VII	Ap ₁	69,80	21,30	2,40	6,50
	Ap ₂	59,70	27,80	2,60	10,10
	B	54,60	22,20	2,40	20,70
	IIBg ₂₁	36,20	17,80	5,40	40,20
	IIBg ₂₂	40,60	17,70	6,60	35,30
	IICCa	23,29	28,84	9,95	40,05
	IIIB	34,07	28,17	2,85	34,65
	+ 2 m	34,44	23,48	3,15	39,05
VIII	Ap	68,20	22,10	1,40	8,10
	g ₁	68,30	23,80	1,10	7,10
	g ₂₁	37,30	15,30	4,20	42,90
	g ₂₂	45,60	18,20	2,90	34,30
	g ₂ /Ca	29,40	23,20	5,30	43,30
IX	Ap	8,30	19,40	20,70	50,80
	Ap/(B)	7,80	18,10	23,10	51,00
	(B) ₁	7,20	15,40	20,80	56,30
	(B) ₂	9,21	19,77	15,00	55,40
	C	5,83	18,04	15,90	60,10

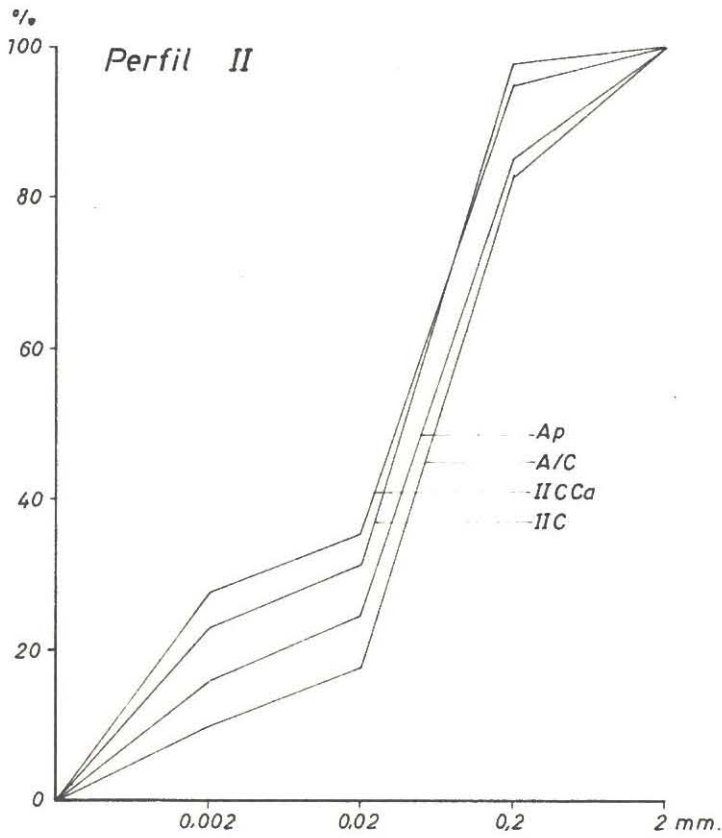
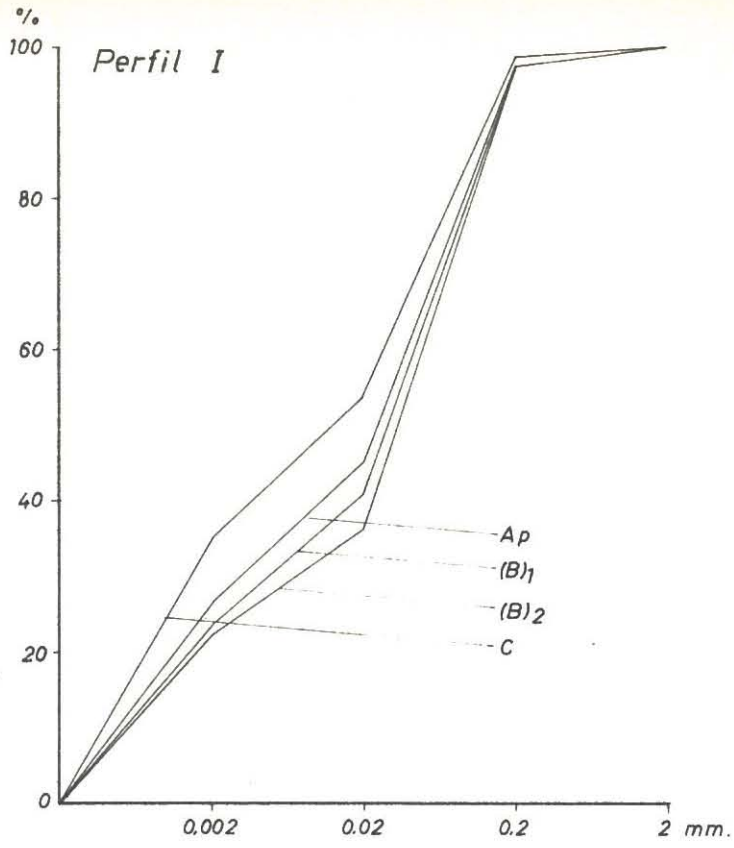


Fig. 2 Representación gráfica (curvas acumulativas) de los análisis mecánicos

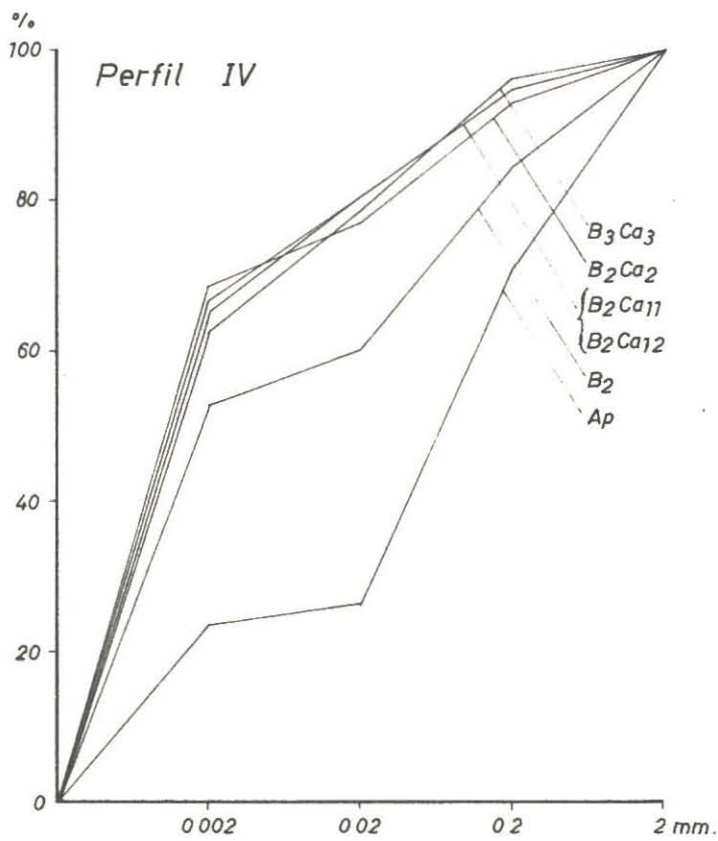
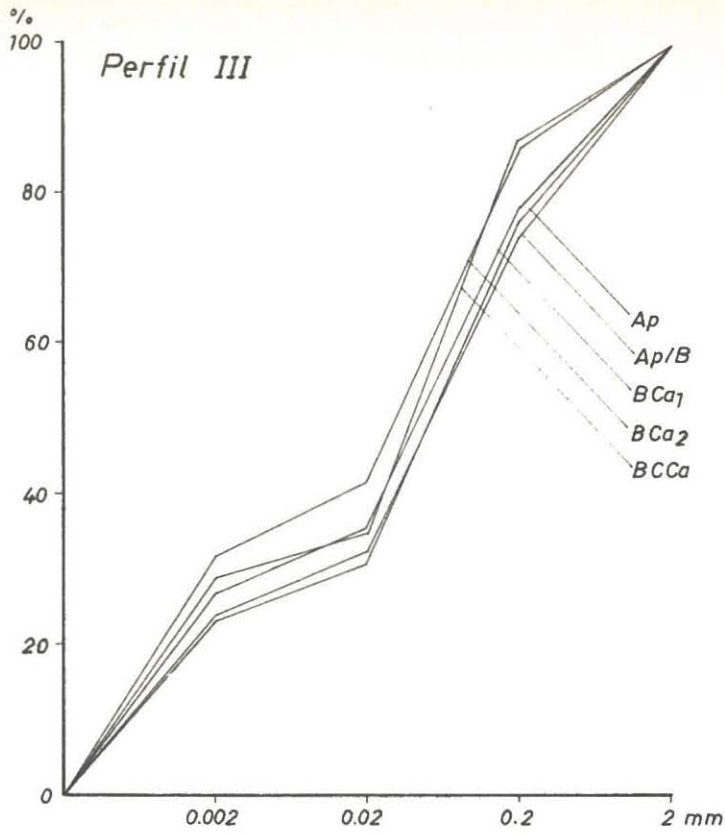


Fig. 3 Representación gráfica (curvas acumulativas) de los análisis mecánicos.

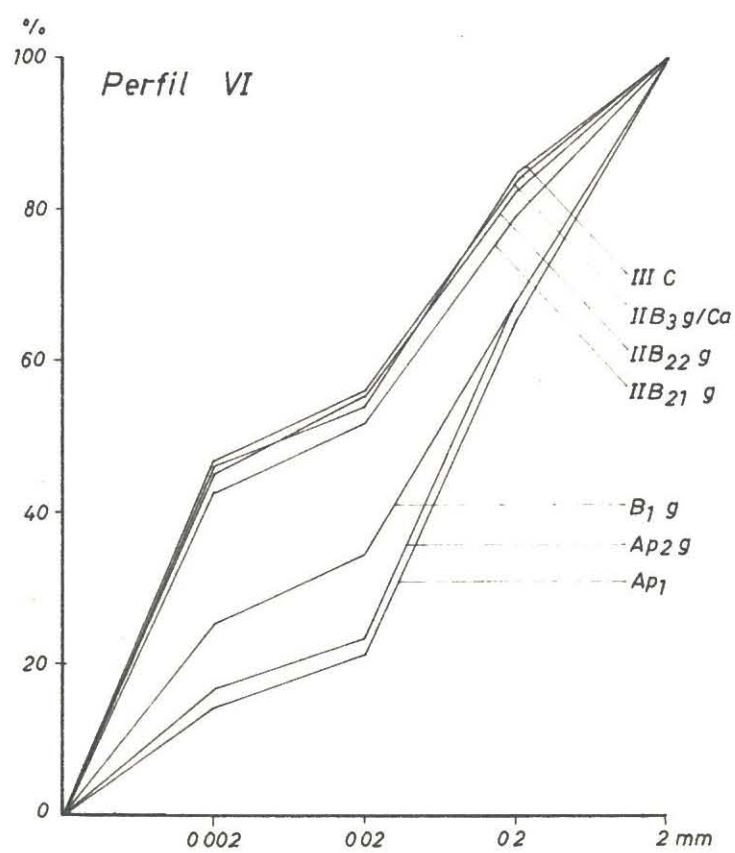
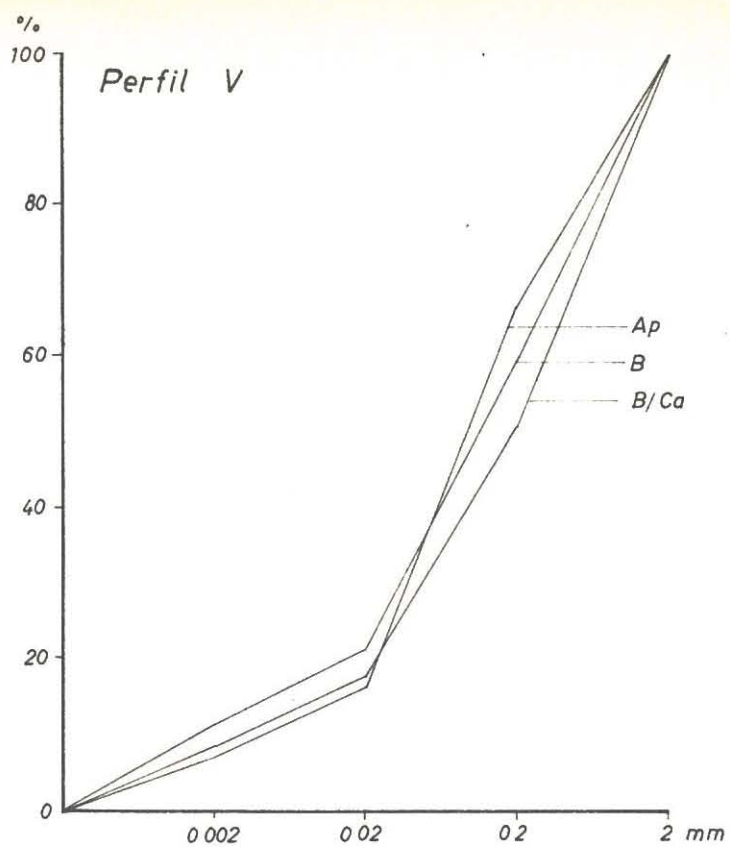


Fig. 4 Representación gráfica (curvas acumulativas) de los análisis mecánicos.

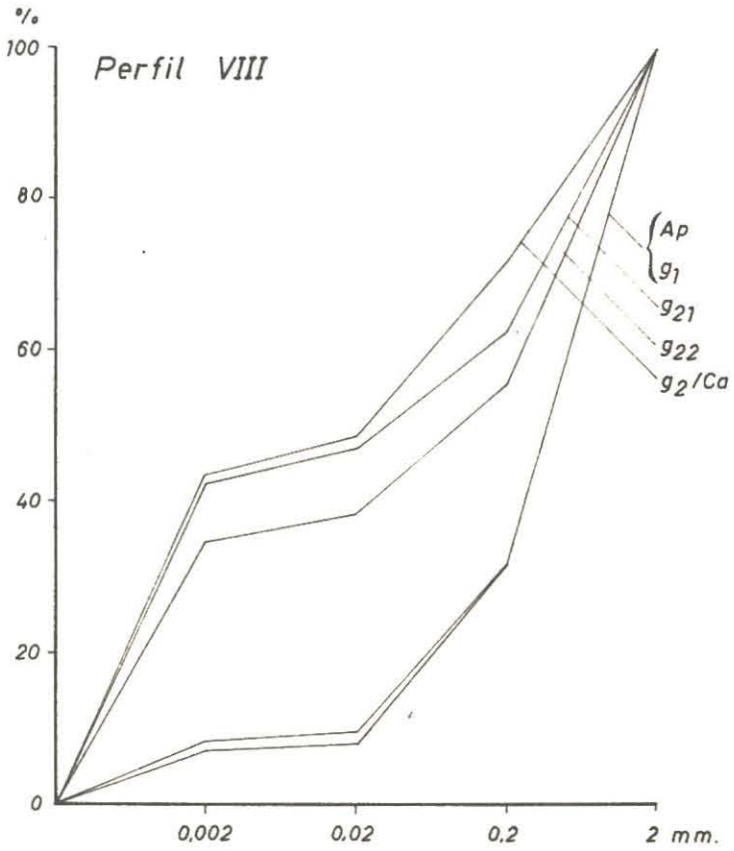
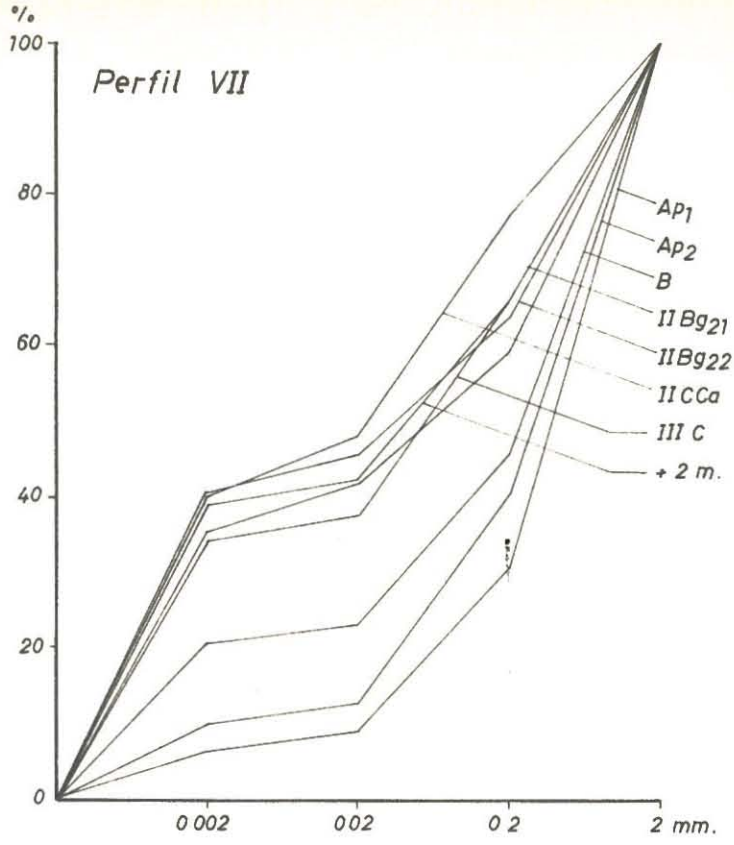


Fig. 5 Representación gráfica (curvas acumulativas) de los análisis mecánicos.

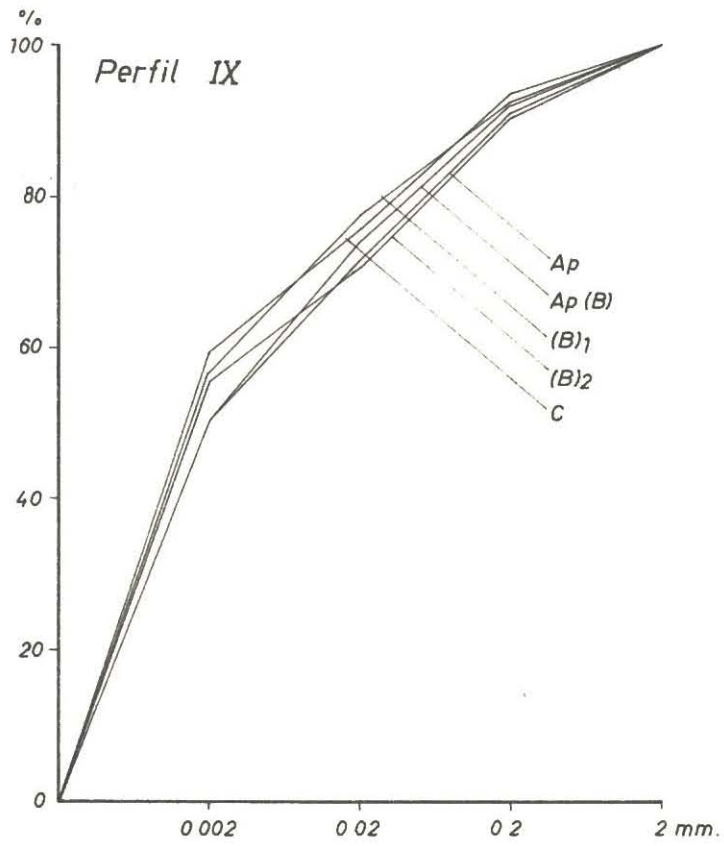


Fig. 6 Representación gráfica (curvas acumulativas) de los análisis mecánicos.

III.3 ANALISIS QUIMICO TOTAL DE LOS SUELOS

La tabla 4 contiene los resultados del análisis químico total de los diferentes suelos estudiados. La primera columna está compuesta por los datos correspondientes a pérdidas por calcinación, debidas a materia orgánica, agua de cristalización y anhídrido carbónico de los carbonatos. Estos datos, como las restantes determinaciones, están referidos a muestras secas a 110° C.

Los perfiles I y II corresponden a suelos aluviales. El primero es una vega actual, muy uniforme y con una pérdida por calcinación del orden del 17% en todos los horizontes. El segundo corresponde a una vega con cierta diferenciación morfológica; los valores de la pérdida por calcinación varían desde 6,40% y 3,62% en los horizontes superficiales a 19,68% y 20,41% en los más profundos. Estos valores ponen de manifiesto los distintos contenidos en arcilla y carbonatos en el perfil y otras circunstancias, que serán discutidas más adelante.

Así mismo, en el perfil III existen diferencias acusadas entre los valores de pérdida por calcinación correspondientes a los horizontes superficiales (9,47 y 11,65 %) y a los más profundos (de 15,6 a 26,9 %). Se trata de un suelo que muestra, en efecto, un apreciable grado de desarrollo.

En el perfil IV, la pérdida por calcinación del horizonte Ap es baja, 3,63% mientras que la correspondiente al horizonte B₂ es prácticamente doble, 6,92%; lo cual refleja la diferencia textural que existe entre ambos horizontes. En los siguientes, los valores de pérdida por calcinación aumentan considerablemente, alcanzando el 30% en B₂Ca₂, como consecuencia de la acumulación de carbonatos.

El perfil V muestra los valores de pérdida por calcinación más bajos encontrados; en ninguna muestra se sobrepasa el 2%. Se trata de un suelo situado en terraza alta pobre en arcilla y desprovisto de carbonatos, circunstancias que justifican dichos valores.

En los perfiles VI, VII y VIII, los horizontes superficiales y subsuperficiales están descarbonatados, mientras que los horizontes profundos muestran una ligera acumulación de caliza en forma de nódulos. A estos horizontes calizos corresponden en cada perfil, los valores máximos de la pérdida por calcinación. En los restantes horizontes, estos valores dependen casi exclusivamente de los porcentajes de arcilla. Así, los horizontes arcillosos tienen valores comprendidos entre 3 y 7%, mientras que los subsuperficiales arenosos no alcanzan el 2%.

Por último, el perfil IX, tierra negra andaluza, es un suelo arcilloso muy uniforme en su textura. La pérdida por calcinación es del orden del 5% en todos los horizontes, salvo en el último, donde aumenta

algo, debido a la presencia de concreciones calizas.

El método triácido ha permitido separar la sílice que forma parte de la red cristalina de los diferentes minerales, de la sílice cristalizada como cuarzo. Este es el principal componente del residuo total, cuyos valores están recogidos en la segunda columna de la mencionada tabla 4.

En general los valores son altos. Se aprecia también que los horizontes calizos ofrecen los valores más bajos (del orden del 10 % en los horizontes B/Ca del perfil IV), mientras que los arenosos, los más elevados (en especial los horizontes superficiales de los perfiles VI, VII y VIII, donde este valor alcanza el 90%). Así mismo son elevados los residuos totales del perfil V, cuyos valores oscilan entre 86 y 90% en todos los horizontes.

Una gran homogeneidad en los valores del residuo total presentan las muestras de los perfiles I y IX (vega actual y tierra negra, respectivamente). En el primero, los valores son del orden de 40 %, y en el segundo, de 50%. Por el contrario, en el perfil II existe diferencia entre el residuo total de los horizontes superiores y profundos, diferencia que parece estar de acuerdo con los correspondientes contenidos en carbonatos.

En resumen, puede observarse que existe un mayor contenido de cuarzo en los suelos de terrazas

más altas. Así mismo hay que resaltar que aunque los horizontes arcillosos (perfil IX, horizonte B del perfil IV, horizontes con pseudogleyización de los perfiles VI, VII y VIII) muestran los más bajos porcentajes de residuo total, éstos son a pesar de todo demasiado altos, pues los valores oscilan entre el 40 y el 60%. Por consiguiente, hay que pensar en la probable existencia de cuarzo en la fracción arcilla. Este punto será comentado y discutido más adelante en el estudio mineralógico de dicha fracción.

La tercera columna se refiere a los porcentajes de sílice perteneciente a la red cristalina de los distintos minerales del suelo. Existe una clara relación entre estos valores y los contenidos de arcilla: los horizontes más arcillosos muestran los porcentajes más altos de sílice. Así, los perfiles I y II presentan un gran paralelismo en las variaciones de los contenidos de sílice y arcilla a través de los diferentes horizontes. De igual modo, el horizonte B₂ del perfil IV ofrece un contenido de sílice del orden del 24%, mientras que en el resto de los horizontes, prácticamente ninguno supera el 12%. Por el contrario, los horizontes del perfil V, de terraza alta, contiene de 4 a 6 % de sílice. Igualmente ocurre en los horizontes superficiales, de textura arenosa, de los perfiles VI, VII y VIII, donde los valores de sílice son inferiores al 3%. Finalmente, el perfil IX, en cuya textura la fracción fina supone más del 50 %, presenta los valores

de sílice más elevados, superiores al 20% en todos los horizontes.

Igual que en el caso de la sílice, los contenidos en Al_2O_3 , Fe_2O_3 y TiO_2 tienen una estrecha relación con la proporción de arcilla presente, en especial en cuanto se refiere al hierro y aluminio.

Los suelos de vega (perfiles I y II) y la tierra negra (perfil IX) muestran contenidos en sesquióxidos muy similares en los distintos horizontes. En el perfil I, la semejanza en la composición química es más notable en los tres primeros horizontes. En el perfil II, vega más antigua, es en realidad más elevado el contenido en sesquióxidos en los dos horizontes profundos, si se consideran muestras libres de carbonatos. Las distintas muestras de la tierra negra (perfil IX) tienen valores de 11-12 % de Al_2O_3 , 4 % de Fe_2O_3 y 0,90 % de TiO_2 , cifras altas que están de acuerdo con la textura arcillosa.

El perfil III, calizo en todos los horizontes y con cierta acumulación de carbonatos en profundidad, presenta porcentajes de Al_2O_3 , Fe_2O_3 y TiO_2 similares en todo él. Los contenidos son respectivamente, del orden de 5,00 %, 2,50 % y 0,40 %. Hay que resaltar que estos valores son algo inferiores en el horizonte B/Ca₂, debido a la mayor proporción de carbonatos.

El perfil IV muestra en los horizontes B/Ca contenidos de Al_2O_3 , Fe_2O_3 y TiO_2 comprendidos entre 4,50 y 6,90 %, 2,00 y 2,90% y 0,2 y 0,4 %, respectivamente. Estos valores se duplican en el horizonte B_2 , coincidiendo con el mayor contenido en arcilla.

El perfil V es pobre en sesquióxidos; ningún horizonte supera el 3,50% de Al_2O_3 , el 2,00 % de Fe_2O_3 y el 0,2 % de TiO_2 . Estos bajos porcentajes son consecuencia del intenso lavado que ha sufrido este suelo situado en la terraza más antigua del río.

Los perfiles VI, VII y VIII, suelos con gran diferencia textural entre los horizontes superficiales y profundos, presentan variaciones importantes en los contenidos en sesquióxidos. Así, por ejemplo, atendiendo a los porcentajes de sesquióxidos y SiO_2 , el perfil VII puede dividirse en tres zonas bien diferenciadas. La primera, constituida por los horizontes Ap_1 , Ap_2 y B, es en conjunto la más arenosa, si bien la arcilla aumenta desde Ap_1 a B. Paralelamente se elevan los contenidos en sesquióxidos; así, Al_2O_3 pasa de 1,70 % en Ap_1 a 5,98 % en B, Fe_2O_3 , de 0,95 % a 2,15 % y el TiO_2 , de 0,2 a 0,3 %. La segunda zona comprende los horizontes con pseudogleyización (Bg). Los porcentajes de arcilla aumentan bruscamente y con ella, los contenidos en sesquióxidos. Esta segunda parte la formarían los horizontes II Bg_{21} , II Bg_{22} y II C/Ca, cuyos porcentajes de Al_2O_3 , Fe_2O_3 y TiO_2 son uniformes y

del orden de 10,0 - 11,0 %, 3,5 - 4,0% y 0,4 %, respectivamente. En el horizonte subyacente al pseudogley (IIIC), los sesquióxidos disminuyen para aumentar en el horizonte inmediato inferior, pasando el Al_2O_3 de 8,54 a 11,80 %, el Fe_2O_3 , de 3,16 a 4,32 % y el TiO_2 , de 0,35 a 0,43 %. Estos dos últimos horizontes formarían la tercera zona indicada del perfil.

En el perfil VIII existen grandes diferencias entre los primeros horizontes arenosos (Ap y g_1) y los más profundos (g_{21} , g_{22} y g_2/Ca). En los dos superficiales los valores son de 1,80 - 1,60 para el Al_2O_3 , de 0,82 - 0,63 % para el Fe_2O_3 y de 0,20 - 0,27% para el TiO_2 . Al pasar al siguiente horizonte (g_{21}), el aumento es brusco, situándose las cifras anteriores en 13,37%, 5,71% y 0,47%, respectivamente.

Por último, el perfil VI presenta una distribución de los sesquióxidos en sus horizontes, semejante a la del perfil VII, por lo que también podrían diferenciarse tres zonas en el perfil: la primera formada por los horizontes Ap_1 , Ap_2 y B_1g ; la segunda con los horizontes de mayor pseudogleyización y, por último, la tercera, representada por el horizonte subyacente a éstos.

Los suelos de la zona estudiada tienen de común una litología originalmente caliza. Esto hace que el calcio sature el complejo de cambio en casi todos los horizontes, según fué expuesto y comentado anteriormente.

El suelo de vega actual (perfil I) tiene porcentajes de CaO muy parecidos en todo el perfil, con valores que oscilan entre 14 y 16 %. En el perfil II, los porcentajes de CaO dividen el suelo en dos zonas: la superficial formada por los horizontes Ap y A/C, con valores de 6,10 y 3,26 % respectivamente, y la más profunda, horizontes IIC/Ca y IIC, con 19,06 y 22,24 % de CaO, respectivamente. Esta gran diferencia para un suelo relativamente joven induce a pensar, como en anteriores comentarios, en una posible discontinuidad litológica.

El perfil III, si bien es calizo en toda la masa, presenta lavado de carbonatos que permite diferenciar los horizontes B/Ca. Por ello en este suelo, los valores de CaO aumentan con la profundidad, hasta alcanzar el máximo en el horizonte B/Ca₂ con 35,50 % de CaO.

En el perfil IV, los horizontes Ap y B₂ están desprovistos de caliza, lo cual hace que los porcentajes de CaO sean bajos, si bien doble en B₂ que en Ap (1,75 % frente a 0,87 %), coincidiendo posiblemente con un aumento equivalente de arcilla. A continuación se encuentran los horizontes de acumulación de carbonatos, en los que los valores de CaO son lógicamente muy altos, llegando a alcanzar el 46,55 % en el B₂/Ca₂.

En el perfil V, situado en terraza alta, el lavado ha tenido una gran influencia, por lo que los valores de CaO son bajos, no alcanzando ningún horizonte

el 0,5 %.

Los suelos con pseudogley (perfiles VI, VII y VIII) contienen porcentajes de CaO muy bajos, inferiores al 1,00 %. Sólo se alcanzan valores algo superiores en los horizontes donde existe una cierta acumulación de nódulos calizos: horizonte IIB₃g/Ca del perfil VI con 6,74 %, y en el horizonte IIC/Ca del perfil VII, con 5,42 % de CaO.

Por último, la tierra negra (perfil IX) muestra, una vez más, gran uniformidad en su composición química. Los valores de CaO son del orden de 1,30 % en todo el perfil, y solo aumenta ligeramente en el horizonte C que ofrece un contenido de 2,02 %.

El magnesio puede estar en el suelo, principalmente, como carbonato, formando parte del complejo de cambio y como constituyente de distintos minerales. En la tabla 4, el magnesio está expresado como MgO y puede comprobarse que sus porcentajes son siempre inferiores a los de CaO.

El perfil I es el que presenta mayor contenido de MgO, con valores que oscilan entre 2,04 y 3,18 %. Probablemente, estos contenidos relativamente elevados puedan explicarse por la presencia de carbonatos y abundante mica (biotita, principalmente) que, debido a la juventud del suelo, no ha sido alterada de forma completa. El perfil II muestra, así mismo, cifras ligeramente elevadas, aunque algo inferiores a las del

perfil I. Como ocurría respecto al CaO, en este perfil se distingue claramente dos zonas, según el porcentaje de MgO: los dos horizontes superiores tienen 1,46 y 1,21 % respectivamente, frente a contenidos más elevados en los dos profundos, 2,28 y 2,69 %.

En el perfil III, los valores de MgO están comprendidos entre 0,55 y 0,65 %, observándose que no aumentan en los horizontes de acumulación de carbonatos.

Igual que en el perfil anterior, el perfil IV presenta porcentajes de MgO inferiores a 1,00 %, sin que se aprecie aumento alguno en los horizontes de acumulación caliza, por lo que debe ser insignificante su presencia bajo la forma de carbonato de magnesio. Sin embargo, es el horizonte B₂ arcilloso el que, con 0,70 % de MgO, tiene el más alto porcentaje. Esto parece indicar que existe una relación entre la arcilla y el contenido en magnesio, lo cual hace pensar que este elemento se encuentre, principalmente, como catión de cambio o bien, sustituyendo isomórficamente a otros cationes, tales como hierro y aluminio.

Por las mismas circunstancias apuntadas en el comentario del contenido en CaO, el perfil V ofrece porcentajes muy bajos de MgO, concretamente estos valores apenas si oscilan entre 0,10 y 0,13 %.

En los perfiles VI, VII y VIII, existen diferencias acusadas en los porcentajes de MgO entre los horizontes superficiales arenosos y los más profundos arcillosos con pseudogleyización; lo cual parece indicar

nuevamente, que la cantidad de MgO esté ligada a la fracción arcilla del suelo. Esta misma relación puede observarse en el perfil IX, suelo muy arcilloso, donde se aprecian los valores más altos de MgO, si se exceptúan los suelos de vega (perfiles I y II).

Las dos últimas columnas de la tabla 4 corresponden a los porcentajes de potasio y sodio expresados como K_2O y Na_2O .

Los suelos estudiados tienen contenidos en K_2O que apenas sobrepasan el 1,00 %, en los horizontes más ricos. En líneas generales, parece existir, como en el caso de otros elementos, una relación directa entre los contenidos en potasio y de arcilla, así como con la naturaleza de ésta.

Nuevamente se aprecia que los perfiles I y II presentan valores muy uniformes en todos los horizontes, aunque quizás haya que resaltar el 1,17 % de K_2O en el horizonte C del perfil I.

El perfil III, con contenidos medios de arcilla, presenta valores de K_2O solo superados por los correspondientes a la tierra negra (perfil IX), donde se alcanza 1,10 % en todos los horizontes.

En el perfil IV, los porcentajes de K_2O están comprendidos entre 0,55 y 1,08 %, correspondiendo este último valor al horizonte B de acumulación de arcilla.

El perfil V ofrece, como en anteriores comentarios los valores más bajos de K_2O , oscilando éstos entre 0,27 y 0,33 %.

Finalmente, los perfiles VI, VII y VIII muestran diferencias acusadas entre los porcentajes correspondientes a los horizontes arenosos superficiales y los que ofrecen los horizontes arcillosos con pseudogleyización.

Por último, el sodio se encuentra siempre en proporciones menores que el potasio y no sigue, como en el caso de éste, ninguna relación con el contenido y naturaleza de la arcilla. La presencia del sodio quizás haya que relacionarla con la existencia en el suelo de minerales del grupo del feldespatos.

TABLA 4

Análisis químico total de los suelos. % referido a muestra seca a 110° C

Perfil	Horiz.	Calc.	Rs.T.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O
I	Ap	17,19	40,01	11,90	7,39	2,97	0,58	14,56	2,91	0,88	0,77
	(B) ₁	16,68	42,72	10,49	6,36	2,79	0,55	16,38	2,04	0,88	0,77
	(B) ₂	17,47	42,94	9,96	6,31	2,64	0,50	15,06	3,18	0,88	0,77
	C	17,04	36,65	14,67	8,97	3,26	0,57	14,00	2,58	1,17	0,77
II	Ap	6,40	66,55	9,35	6,49	2,37	0,57	6,10	1,46	0,88	0,58
	A/C	3,62	78,26	6,23	4,01	1,97	0,55	3,86	1,21	0,59	0,58
	II CCa	19,68	40,96	8,26	5,44	2,12	0,50	19,06	2,28	0,88	0,58
	II C	20,41	39,34	7,58	4,66	2,16	0,38	22,24	2,69	0,70	0,58
III	Ap	9,47	60,98	9,14	5,40	2,60	0,50	8,75	0,59	1,07	0,50
	ApB	11,65	55,43	10,20	5,25	2,50	0,42	12,95	0,59	1,07	0,64
	BCa ₁	15,64	45,91	9,74	4,90	2,37	0,37	20,47	0,61	1,01	0,47
	BCa ₂	26,88	24,16	7,35	3,50	1,65	0,25	35,50	0,55	0,66	0,34
	BCCa	18,00	40,66	9,98	5,10	2,40	0,35	22,28	0,65	0,89	0,40

.....//.....

.....//.....

T A B L A 4 (continuación)

Perfil	Horiz.	Calc.	Rs.T.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O
IV	Ap	3,63	74,75	11,02	6,00	2,80	0,38	0,88	0,30	0,55	0,28
	B ₂	6,92	44,34	23,89	13,25	6,10	0,55	1,75	0,70	1,08	0,55
	B ₂ Ca ₁₁	28,12	14,14	12,32	6,90	2,90	0,29	35,70	0,51	0,66	0,33
	B ₂ Ca ₁₂	29,68	9,56	10,02	5,30	2,25	0,22	43,05	0,50	0,58	0,38
	B ₂ Ca ₂	30,27	8,08	8,64	4,50	2,00	0,20	46,55	0,47	0,55	0,33
	B ₃ Ca ₃	28,41	11,79	10,17	4,90	2,15	0,25	40,25	0,57	0,71	0,47
V	Ap	2,00	88,86	4,62	2,40	1,50	0,22	0,46	0,12	0,30	0,28
	B	1,95	86,26	5,74	3,25	2,00	0,19	0,35	0,13	0,33	0,27
	B/Ca	1,32	90,32	4,43	2,25	1,40	0,16	0,49	0,10	0,27	0,27

.....//.....

.....//.....

T A B L A 4 (continuación)

Perfil	Horiz.	Calc.	Rs.T.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O
VI	Ap ₁	1,10	86,69	8,00	2,59	1,20	0,30	0,10	0,05	0,40	0,00
	Ap _{2g}	1,20	85,40	8,13	2,89	1,40	0,32	0,10	0,05	0,45	0,00
	B _{1g}	2,80	75,80	11,48	8,00	1,65	0,43	0,10	0,05	0,69	0,00
	IIB _{21g}	3,48	62,18	18,00	10,14	4,16	0,50	0,30	0,40	0,80	0,00
	IIB _{22g}	3,64	61,93	16,90	11,35	4,30	0,48	0,28	0,50	0,81	0,00
	IIB _{3gCa}	8,52	50,32	16,80	10,81	4,10	0,51	6,69	1,20	0,80	0,00
	III C	6,90	51,69	18,00	11,48	4,53	0,62	4,48	1,08	0,88	0,00
VII	Ap ₁	1,16	91,92	2,83	1,69	0,95	0,23	0,21	0,10	0,19	1,01
	Ap ₂	1,22	88,88	4,30	3,40	1,22	0,28	0,24	0,12	0,12	0,85
	B	2,64	80,16	8,00	5,98	2,15	0,28	0,20	0,24	0,24	0,80
	IIBg ₂₁	4,08	61,54	16,90	11,20	4,02	0,40	0,62	0,43	0,48	0,85
	IIBg ₂₂	3,50	63,56	16,62	10,48	3,61	0,42	0,69	0,58	0,52	0,85
	IICCa	6,90	55,21	16,90	9,83	3,52	0,43	5,42	0,69	0,56	0,85
	III C	3,92	65,90	14,64	8,54	3,16	0,35	1,92	0,61	0,48	0,93
	+ 2m	4,42	56,90	18,90	11,80	4,32	0,43	1,12	0,80	0,65	0,93

.....//.....

.....//.....

T A B L A 4 (continuación)

Perfil	Horiz.	Calc.	Rs.T.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O
VIII	Ap	1,25	92,82	2,80	1,81	0,82	0,20	0,54	0,20	0,14	0,31
	g ₁	0,68	94,53	2,28	1,60	0,63	0,28	0,32	0,12	0,14	0,15
	g ₂₁	5,00	54,27	19,36	13,38	5,69	0,48	0,69	0,64	0,66	0,31
	g ₂₂	3,68	65,91	14,82	9,80	4,38	0,38	0,55	0,53	0,61	0,23
	g ₂ /Ca	4,98	54,39	19,50	12,80	5,51	0,58	0,94	0,69	0,91	0,41
IX	Ap	5,31	53,36	20,34	11,35	4,04	0,86	1,29	1,66	1,10	0,00
	A(B)	5,08	52,26	22,64	12,01	4,29	0,90	1,23	1,33	1,10	0,00
	(B) ₁	5,04	50,65	24,19	12,21	4,29	0,90	1,23	1,36	1,10	0,00
	(B) ₂	5,18	51,63	22,05	12,08	4,11	0,88	1,43	1,21	0,94	0,00
	C	6,80	50,54	21,34	11,83	3,98	0,83	2,02	1,38	1,10	0,00

III.4 MINERALES AMORFOS EN LOS SUELOS

La tabla 5 contiene los resultados del análisis de SiO_2 , Al_2O_3 y Fe_2O_3 amorfos presentes en los distintos suelos estudiados. Puede observarse que la sílice es el mineral amorfo que se encuentra en menor proporción. Sus valores varían desde cantidades no apreciables hasta porcentajes máximos algo superiores a 0,30 %.

Los suelos de vega, perfiles I y II, con valores en los horizontes Ap de 0,18 y 0,24 %, son los que presentan un mayor contenido de sílice amorfa, que decrece con la profundidad hasta alcanzar valores del orden de 0,05 %. Porcentajes medios presenta el suelo pardo rojizo (perfil III), con 0,10 % de SiO_2 amorfa en superficie y 0,15 y 0,22 %, en profundidad.

Sobre terrazas más antiguas se encuentran suelos rojos (perfiles IV y V), con contenidos nulos (perfil IV) de sílice amorfa o pequeños (perfil V). Por el contrario, estos suelos, como se indicará más adelante, presentan los más altos valores de Fe_2O_3 amorfo, de acuerdo con lo mostrado por Alvira (1944) en su estudio de tierras rojas españolas. Así mismo, la tierra negra andaluza (perfil IX) no contiene cantidades apreciables de sílice amorfa, mientras que posee gran proporción de óxidos libres de hierro.

Un grupo aparte lo constituyen los suelos que presentan fenómenos de pseudogleyización

(perfiles VI, VII y VIII). En éstos, la sílice amorfa es muy escasa o se encuentra en cantidades no apreciables, tanto en los horizontes superficiales como en los muy profundos; solo los horizontes con pseudogleyización contienen alguna cantidad, del orden de 0,10% y a veces mayor, como en el caso del perfil VIII, donde se alcanza valores de 0,35 %.

El segundo de los minerales amorfos estudiados es el Al_2O_3 . Los resultados se exponen en la tabla 5. Puede apreciarse como todos los suelos de terrazas contienen Al_2O_3 amorfo en proporciones que varían entre 0,03 y 0,50 %, dándose este máximo de variación dentro de un mismo perfil, como sucede en los suelos con pseudogleyización (perfiles VI, VII y VIII). En efecto, los horizontes arenosos de superficie presentan valores comprendidos entre 0,03 y 0,10 %, mientras que los correspondientes a los horizontes profundos, arcillosos y con pseudogleyización, del mismo perfil, varían entre 0,30 y 0,40 %, lo cual representa un aumento hasta diez veces.

Los suelos rojos mediterráneos (perfiles IV y V) presentan valores de 0,15 a 0,20 % en el horizonte superficial, para alcanzar el porcentaje máximo, por encima de 0,30 % en el horizonte B textural, donde, al mismo tiempo, se da el mayor contenido de arcilla. A partir de aquí el Al_2O_3 amorfo disminuye al aumentar la profundidad y aparecer acumulaciones de carbonatos

(horizontes B/Ca).

Los suelos situados en la vega y primera terraza (perfiles I, II, III) presentan un reparto más uniforme del Al_2O_3 amorfa en todo el perfil. Sin embargo, puede apreciarse un mayor contenido en el horizonte superficial, con valores de 0,09, 0,15 y 0,25 %, respectivamente, frente a 0,05, 0,12 y 0,19 % en el horizonte subyacente. Dentro de este mismo grupo de perfiles, hay que destacar el mayor contenido de Al_2O_3 amorfa del suelo pardo rojizo (perfil III), frente al de los suelos de vega (perfiles I y II). Esto podría indicar una relación entre el contenido en este mineral amorfo y el desarrollo edáfico del perfil.

Por último, es interesante indicar el mayor contenido en Al_2O_3 amorfa del perfil IX, tierra negra andaluza, con valores de 0,30 a 0,50 %. Esto resulta lógico si se tiene en cuenta que se trata de un suelo muy arcilloso, con hidromorfismo que determina condiciones favorables a la retención de Al_2O_3 .

En la mencionada tabla 5 puede observarse que los contenidos en óxidos de hierro amorfo en los suelos de terraza estudiados, varían de 0,05 a 1,32 % y salvo en el caso del perfil IX (tierra negra), son siempre superiores a los de Al_2O_3 y SiO_2 .

Exceptuando los perfiles con pseudogleyización, estos suelos presentan por lo general proporciones más altas de Fe_2O_3 amorfo en los horizontes superficiales

que en los profundos.

Como ocurre con otras características morfológicas y analíticas, el perfil I (suelo de vega) presenta una gran uniformidad en las proporciones de Fe_2O_3 amorfo en todos los horizontes. Su contenido es medio y oscila entre 0,50 y 0,60 %. Por el contrario, el perfil II (vega diferenciada) muestra un marcado contraste entre los contenidos de Fe_2O_3 amorfo en los horizontes superficiales Ap y A/C (0,44 y 0,35 %, respectivamente), y los profundos C/Ca y C (0,10 y 0,14 %, respectivamente). Podría pensarse en una mejor cristalización del Fe_2O_3 debida a la acumulación del carbonato cálcico y mayor alcalinidad del medio.

En el perfil IV (suelo rojo), el contenido de Fe_2O_3 amorfo es de 0,71 y 1,13 % en los horizontes Ap y B, respectivamente, y a partir de este horizonte, desciende hasta alcanzar el valor de 0,05 %, en el B_3Ca_3 . Una secuencia similar existe en el perfil V (suelo rojo sobre terraza más antigua). En ambos conviene resaltar la relación estrecha que existe entre la intensidad del color rojo y el contenido en Fe_2O_3 amorfo.

El perfil III (suelo pardo rojizo) presenta valores inferiores a los de los suelos rojos mediterráneos, y muestra, así mismo, un descenso del contenido de Fe_2O_3 amorfo con la profundidad (0,56 % para el Ap hasta 0,32 % en el BC/Ca).

Los perfiles con pseudogleyización presentan

características propias en cuanto al reparto del Fe_2O_3 amorfo en ellos. Así, el perfil VII presenta valores de 1,10 y 1,16 % en los horizontes con pseudogleyización, frente a 0,08 % en el Ap y entre 0,11 y 0,16 % en los más profundos. El perfil VIII es análogo al anterior, con valores de 1,32 y 1,26 % para los horizontes con fenómenos de pseudogleyización, frente a 0,18 % en el Ap y 0,20 % en el más profundo. En el perfil VI, aunque se encuentra una secuencia parecida en el reparto del Fe_2O_3 amorfo, a las anteriores, las diferencias son menos pronunciadas. Así, mientras que los horizontes con pseudogleyización ofrecen valores de 0,66 %, en los superficiales y más profundos, los contenidos son de 0,20 y 0,30 %, respectivamente.

Como ya se indicó al principio de estos comentarios, la tierra negra (perfil IX) muestra contenidos de Fe_2O_3 amorfo muy bajos en comparación con otros suelos de la misma zona, contenidos incluso inferiores a los de Al_2O_3 amorfo. Solo el horizonte Ap con 0,29 % presenta un valor medio, ya que los demás no sobrepasan el 0,12 %. En este perfil puede observarse, igualmente, como los valores de Fe_2O_3 amorfo disminuyen con la profundidad.

Resumiendo, los suelos de terraza presentan mayores contenidos de Fe_2O_3 amorfo en los horizontes superficiales; existe cierta acumulación en los horizontes B texturales, como en el caso de suelos rojos; a

partir de éstos disminuye con la profundidad hasta alcanzar los valores mínimos en los horizontes B/Ca de acumulación caliza.

El grupo de perfiles con pseudogleyización se aparta de esta norma, ya que los horizontes superficiales están más o menos empobrecidos en Fe_2O_3 , según su contenido en arena, mientras que en los horizontes muy arcillosos que presentan el fenómeno de la pseudogleyización, existe acumulación de Fe_2O_3 amorfo. Cabe apuntar por tanto, la existencia de una relación entre los contenidos de arcilla y Fe_2O_3 amorfo, como ha sido mostrada por diversos autores para otras formas de hierro, Paneque y Olmedo (1971) y otros.

Comparados con los porcentajes de otros suelos, los contenidos de Fe_2O_3 amorfo de la tierra negra son anormalmente bajos; puede apuntarse para posterior discusión, que este empobrecimiento podría estar relacionado con la formación de concreciones ferruginosas. Así mismo conviene considerar la posibilidad de formación de complejos de Fe_2O_3 amorfo con la materia orgánica.

Por último, se ha apuntado la posible existencia de una discontinuidad litológica en el perfil II como parece desprenderse del salto brusco que experimenta el contenido de hierro amorfo al pasar del horizonte A/C al inmediatamente subyacente C/Ca, en contra de la norma general de disminución regular y progresiva que se observa en los demás perfiles.

TABLA 5

% Minerales amorfos en el suelo

Perfil	Horiz.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃
I	Ap	0,18	0,15	0,56
	(B) ₁	0,12	0,12	0,51
	(B) ₂	0,09	0,08	0,47
	C	0,08	0,10	0,60
II	Ap	0,24	0,07	0,44
	A/C	0,18	0,03	0,35
	II CCa	0,04	0,10	0,09
	II C	0,05	0,05	0,15
III	Ap	0,10	0,25	0,56
	Ap/B	0,05	0,19	0,54
	B/Ca ₁	0,08	0,20	0,46
	B/Ca ₂	0,15	0,23	0,38
	BC/Ca	0,22	0,11	0,32
IV	Ap	0,00	0,21	0,71
	B ₂	0,00	0,33	1,13
	B ₂ Ca ₁₁	0,00	0,21	0,37
	B ₂ Ca ₁₂	0,00	0,15	0,25
	B ₂ Ca ₂	0,10	0,11	0,14
	B ₃ Ca ₃	0,00	0,19	0,05

.....//.....

.....//.....

T A B L A 5 (continuación)

Perfil	Horiz.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃
V	Ap	0,02	0,15	0,52
	B	0,19	0,32	0,65
	B/Ca	0,05	0,23	0,36
VI	Ap	0,03	0,10	0,25
	Ap _g	0,04	0,13	0,30
	B _{1g}	0,04	0,23	0,25
	IIB _{21g}	0,10	0,20	0,83
	IIB _{22g}	0,10	0,19	0,85
	IIB _{3g} /Ca	0,00	0,10	0,10
	III C	0,00	0,10	0,20
VII	Ap ₁	0,02	0,05	0,08
	Ap ₂	0,02	0,06	0,07
	B	0,00	0,30	0,23
	IIB _{g21}	0,09	0,21	1,16
	IIB _{g22}	0,08	0,22	1,10
	IIC/Ca	0,00	0,07	0,11
	III C	0,00	0,04	0,16
	+ 2 m	0,00	0,04	0,13

.....//.....

.....//.....

TABLA 5 (continuación)

Perfil	Horiz.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃
VIII	Ap	0,10	0,03	0,18
	g ₁	0,09	0,03	0,19
	g ₂₁	0,35	0,46	1,32
	g ₂₂	0,31	0,43	1,26
	g ₂ /Ca	0,25	0,37	0,26
IX	Ap	0,00	0,42	0,29
	A/B	0,00	0,39	0,12
	(B) ₁	0,00	0,39	0,11
	(B) ₂	0,00	0,34	0,11
	C	0,00	0,48	0,07

III.5 CONTENIDO Y DISTRIBUCION DEL Fe_2O_3

En la tabla 7 se exponen los contenidos medios de Fe_2O_3 total, libre y amorfo, así como las razones Fe_2O_3 libre/total y Fe_2O_3 amorfo/total en los diferentes suelos estudiados.

En estos suelos, los porcentajes de Fe_2O_3 total están comprendidos entre 1,63 % en el suelo rojo de terraza alta (perfil V) y 4,14 % en la tierra negra (perfil IX). Llama la atención que sea un suelo rojo el de menor contenido en Fe_2O_3 y la tierra negra, el de mayor proporción. Esto podría explicarse considerando que el suelo rojo se encuentra situado en la terraza más alta y por tanto de mayor antigüedad, por lo que, lógicamente, ha debido sufrir una alteración más intensa y un lixiviado de coloides más pronunciado. Por otro lado, la tierra negra, de textura arcillosa y en otra situación topográfica, muestra un drenaje impedido. Está de acuerdo con esto, el hecho de que los suelos con pseudogleyización sean los que después de la tierra negra, muestren los mayores contenidos en Fe_2O_3 total con valores de 3,02 y 3,41 %. En suelos de Andalucía Occidental, Paneque y Olmedo (1971, I, II, III, IV, V) han demostrado una estrecha relación entre el contenido en hierro y arcilla en los suelos. En este mismo sentido hay que destacar los trabajos de Gallego y Laborda (1959).

Los contenidos medios de Fe_2O_3 libre que presentan los suelos están comprendidos entre 0,92 y 2,25 % (tabla 7).

Es lógico pensar que la liberación de hierro es consecuencia de la alteración y de la evolución del suelo. A este respecto, el tiempo es una variable o factor fundamental. Podría esperarse que la vega y suelos de terrazas más bajas deberían tener los porcentajes más bajos de Fe_2O_3 libre, y los suelos rojos y arenosos de terrazas altas, los más elevados. Efectivamente, en la tabla 9 puede observarse que los perfiles I y II contienen aproximadamente 1,2 y 0,9 %, respectivamente, mientras que los suelos con pseudogleyización (perfiles VI, VII y VIII) presentan unos contenidos que oscilan entre 1,6 y 2,2 %, y al suelo rojo (perfil IV) corresponde 1,85 %. El suelo rojo de terraza alta (perfil V) tiene un valor para el Fe_2O_3 libre de 1,36 %, que en principio parece bajo, pero hay que tener en cuenta que su contenido en Fe_2O_3 total es sólo de 1,63 %, por lo que esa cifra es en relación a esta última, muy alta. Por último, la tierra negra andaluza (perfil IX), con un valor de 1,12 %, es el perfil más pobre en cuanto a contenido de hierro libre, sobre todo siendo el de mayor proporción de Fe_2O_3 total.

Los porcentajes de Fe_2O_3 amorfo (tabla 7) varían entre 0,14 % para la tierra negra (perfil IX) y 0,64 % para el suelo arenoso con pseudogleyización de terraza

alta (perfil VIII). Entre estos valores se sitúan los demás suelos. Hay que destacar la relativamente alta proporción de hierro amorfo que presenta el perfil I, vega, que, con un valor de 0,53 %, es superior a los de los restantes suelos si exceptuamos el perfil VIII.

Diferencias más netas muestran las razones Fe_2O_3 libre/total y Fe_2O_3 amorfo/total expresadas en la tabla 7.

El suelo rojo de terraza alta (perfil V), que tiene porcentajes bajos de Fe_2O_3 total y medios de Fe_2O_3 libre, ofrece la razón libre/total más alta, con un valor de 83,4. Esto es indicio claro del avanzado grado de evolución de dicho suelo. Con valores comprendidos entre 54,0 y 66,0, se encuentran, a continuación, los suelos con pseudogleyización y rojo de terraza media (perfiles VI, VII y VIII, y perfil IV, respectivamente). El suelo pardo rojizo (perfil III) se halla entre éstos y los de vega (perfiles I y II), los cuales tienen la más baja razón libre/total, con valores de 40,8 y 42,0, respectivamente. Por último, la tierra negra (perfil IX) ofrece un valor para esta razón de 27,0, desacorde, como otras determinaciones, al resto de los suelos. Una secuencia paralela presenta la razón Fe_2O_3 amorfo/total, salvo en el caso del perfil I de vega, que con un valor de 18,0 es superior al de otros suelos con razones libre/total más elevadas.

La tabla 6 contiene los resultados de las determinaciones de Fe_2O_3 total, libre y amorfo en cada uno de los horizontes de los diferentes perfiles.

El estudio de los resultados permite indicar tres tipos de secuencias en la variación de los contenidos de hierro en los perfiles investigados: a) uniformidad en la distribución del hierro en todo el perfil; b) acumulación en horizontes subsuperficiales; c) diferencias grandes entre el contenido en horizontes superiores y profundos. Es lógico pensar que estas distintas secuencias deben estar motivadas por la diferente naturaleza e intensidad de los procesos edafogénéticos y evolutivos en cada grupo, procesos que serán discutidos más adelante.

En la primera secuencia de variación deben incluirse los suelos más jóvenes, perfiles I y II de vega y perfil III, suelo pardo rojizo. Así mismo pertenece a esta secuencia el perfil IX, tierra negra andaluza, que quizás sea el que presente la mayor uniformidad en todas las determinaciones efectuadas.

A la segunda secuencia de variación pertenecen los perfiles IV y V de suelos rojos. En efecto, el perfil IV presenta en el horizonte B textural un 6,0 % de hierro total y 4,0 % de hierro libre, frente a contenidos comprendidos entre 2,0 y 3,0 % de hierro total y entre 1,0 y 2,0 % de hierro libre en los demás horizontes. El perfil V, aunque muestra valores más

bajos, contiene en el horizonte B 2,0 de hierro total y 1,6 % de hierro libre, cantidades superiores a la de los restantes horizontes.

La tercera secuencia puede establecerse con los suelos que muestran pseudogleización (perfiles VI, VII y VIII), en los que existe una clara diferencia entre los horizontes más o menos arenosos de superficie y los arcillosos de profundidad. En estos perfiles conviene destacar que los respectivos horizontes más profundos contienen mayor proporción de hierro total (4,5, 4,3 y 5,5 %, respectivamente). Esta circunstancia parece indicar la posible existencia de discontinuidad litológica, con o sin procesos edafogénicos sobreimpuestos. Más adelante, con todos los datos, se discutirá esta posibilidad.

Una secuencia de variación paralela a la de los contenidos en Fe_2O_3 total y libre, se encuentra en los correspondientes al hierro amorfo. No obstante, esta forma de hierro muestra una disminución más acusada que las anteriores en los horizontes B/Ca de acumulación de carbonatos. Particularmente pronunciada es en el perfil II, en el que el Fe_2O_3 amorfo del horizonte C/Ca es de 0,09 % frente a 0,40 % en el horizonte inmediatamente superior.

Las razones Fe_2O_3 libre/total y Fe_2O_3 amorfo/total, calculadas para cada horizonte, se encuentran igualmente expresadas en la tabla 6.

En los perfiles I, II y IX, la razón libre/total se mantiene constante en todos los horizontes, mostrando de esta manera un desarrollo uniforme de todos los horizontes y relativamente poca intensidad de evolución. En los restantes perfiles, esta razón disminuye con la profundidad, de forma más o menos regular en los suelos rojos y pardo rojizo (perfiles IV, V y III, respectivamente), y de forma brusca en los suelos con pseudogleyización (perfiles VI, VII y VIII), al pasar de los horizontes superiores a los arcillosos más profundos.

La razón Fe_2O_3 amorfo/total es constante en el perfil I, y desciende bruscamente en el perfil II donde tiene un valor aproximado de 18 en los horizontes superiores (Ap y A/C) y de 4-6 en los más profundos (C/Ca y C). En el perfil IX (tierra negra), esta razón es de 7,2 en el horizonte Ap y mucho más baja en los restantes horizontes (ninguno alcanza un valor de 3,0). En los perfiles III, IV y V, la razón Fe_2O_3 amorfo/total es superior en superficie que en profundidad, lo cual coincide con una mayor intensidad del color rojo en los horizontes superiores. De estos tres perfiles citados, el que corresponde al suelo pardo rojizo (perfil III), es el que muestra menor diferencia en la razón comentada entre los distintos horizontes.

Al contrario de lo que ocurre en los perfiles que no presentan fenómenos de hidromorfía, los perfiles VI, VII y VIII ofrecen una razón Fe_2O_3 amorfo/total

superior o al menos del mismo orden en los horizontes más profundos con pseudogleyización que en los de superficie. Esta variación podría ser debida a una alteración química más favorable en los horizontes hidromorfos, que se traduciría en un mayor contenido de hierro en forma fácilmente extraíble a través del ataque ácido realizado en la determinación de los minerales amorfos. De acuerdo con esto, los horizontes inferiores al pseudogley presentan un brusco descenso de la razón Fe_2O_3 amorfo/total. Concretamente, se pasa de unos valores comprendidos entre 20 y 30 para los horizontes con pseudogleyización, a otros que oscilan de 3 a 5 en los horizontes subyacentes de los anteriores.

Como resumen del comentario de la distribución del Fe_2O_3 en los diferentes perfiles estudiados, se ha representado gráficamente los valores de las distintas formas del hierro (total, libre y amorfo), así como de la razón Fe_2O_3 libre/total en cada horizonte. Las figuras 7 y 8 muestran de forma clara dicha distribución.

Puede observarse una clara semejanza en las gráficas correspondientes a los suelos con pseudogleyización (perfiles VI, VII y VIII). Así mismo, son típicas las curvas correspondientes a los suelos rojos (perfiles IV y V), con acumulación en el horizonte B y el máximo de la razón libre/total en el Ap. Por último, puede apreciarse fácilmente la uniformidad característica de los suelos de vega (perfiles I y II) y de la tierra negra andaluza (perfil IX).

TABLA 6

% Fe₂O₃ total, libre y amorfo. Razones libre/total y amorfo/total

Perfil	Horiz.	total	Libre	amorfo	li/to	am/to
I	Ap	2,98	1,19	0,56	40,1	18,8
	(B) ₁	2,80	1,14	0,51	40,9	18,3
	(B) ₂	2,64	1,09	0,47	41,2	17,8
	C	3,26	1,35	0,60	41,4	18,4
II	Ap	2,37	1,03	0,44	43,4	18,5
	A/C	1,97	0,86	0,35	43,6	17,8
	C/Ca	2,12	0,87	0,09	41,0	4,2
	C	2,16	0,88	0,13	40,7	6,0
III	Ap	2,60	1,54	0,56	59,2	21,5
	Ap/B	2,50	1,44	0,54	57,5	21,6
	B/Ca ₁	2,37	1,22	0,46	51,5	19,4
	B/Ca ₂	1,75	0,89	0,34	50,8	19,4
	BC/Ca	2,40	1,28	0,32	53,3	13,3
IV	Ap	2,75	2,03	0,71	73,8	25,8
	B ₁	6,10	4,04	1,13	66,2	18,5
	B ₂ Ca ₁₁	2,90	1,72	0,37	59,3	12,7
	B ₂ Ca ₁₂	2,25	1,28	0,25	56,9	11,1
	B ₂ Ca ₂	2,00	0,99	0,14	49,5	7,0
	B ₃ Ca ₃	2,15	1,02	0,05	47,4	2,3

.....//.....

.....//.....

TABLA 6 (continuación)

Perfil	Horiz.	total	libre	amorfo	li/to	am/to
V	Ap	1,50	1,28	0,52	85,3	34,7
	B	2,00	1,63	0,65	81,5	32,5
	B/C	1,40	1,16	0,36	82,8	25,7
VI	Ap ₁	1,20	0,77	0,25	64,2	20,8
	Ap _{2g}	1,40	1,08	0,30	77,0	21,4
	B _{1g}	1,60	1,33	0,30	83,0	18,7
	IIB _{21g}	4,16	2,29	0,83	55,0	20,0
	IIB _{22g}	4,30	2,29	0,85	53,3	19,8
	IIB _{3gCa}	4,10	1,97	0,10	48,0	2,4
	III C	4,53	1,53	0,20	33,8	4,4
VII	Ap ₁	0,95	0,52	0,10	54,7	10,5
	Ap ₂	1,22	0,77	0,09	63,1	7,4
	B	2,15	1,49	0,25	69,3	11,6
	IIBg ₂₁	4,02	2,57	1,16	63,9	28,8
	IIBg ₂₂	3,61	2,13	1,10	59,7	30,4
	IIC/Ca	3,52	1,72	0,11	48,9	3,1
	III C	3,16	1,68	0,16	53,1	5,1
	+ 2 m	4,32	2,46	0,13	56,9	3,0
VIII	Ap	0,82	0,63	0,18	76,8	21,9
	g ₁	0,63	0,57	0,19	90,5	30,1
	g ₂₁	5,71	3,72	1,32	65,1	23,1
	g ₂₂	4,38	2,63	1,26	60,0	28,7
	g ₂ /Ca	5,51	3,70	0,26	67,2	4,7

.....//.....

..... //

TABLA 6 (continuación)

Perfil	Horiz.	total	libre	amorfo	li/to	am/to
IX	Ap	4,04	1,06	0,29	26,2	7,2
	A/(B)	4,29	1,14	0,12	26,6	2,8
	(B) ₁	4,29	1,14	0,11	26,6	2,6
	(B) ₂	4,11	1,09	0,11	26,5	2,7
	C	3,97	1,17	0,07	29,5	1,8

TABLA 7

Contenidos medios de Fe_2O_3

Perfil	total	libre	amorfo	li/to	am/to
I	2,94	1,20	0,53	40,8	18,0
II	2,19	0,92	0,26	42,0	11,9
III	2,30	1,26	0,45	54,8	19,4
IV	3,03	1,85	0,44	61,1	14,5
V	1,63	1,36	0,51	83,4	31,3
VI	3,02	1,61	0,40	53,3	13,3
VII	2,87	1,66	0,38	57,8	13,2
VIII	3,41	2,25	0,64	66,0	18,8
IX	4,14	1,12	0,14	27,0	3,4

TABLA 8

Contenidos medios de los horizontes superiores

Perfil	total	libre	amorfo	li/to	am/to
I	2,88	1,16	0,53	40,3	18,4
II	2,17	0,95	0,40	43,7	18,4
III	2,55	1,49	0,55	58,3	21,6
IV	4,43	3,03	0,92	68,4	20,8
V	1,75	1,46	0,59	83,4	33,7
VI	1,30	0,93	0,27	71,5	20,8
VII	1,44	0,93	0,19	64,6	13,2
VIII	0,73	0,60	0,19	82,2	26,0
IX	4,16	1,10	0,20	26,4	4,8

A = Fe_2O_3 amorfo (Segalen); L = Fe_2O_3 libre (Endredy); T = Fe_2O_3 total (triácido); L/T = Fe_2O_3 libre/total.

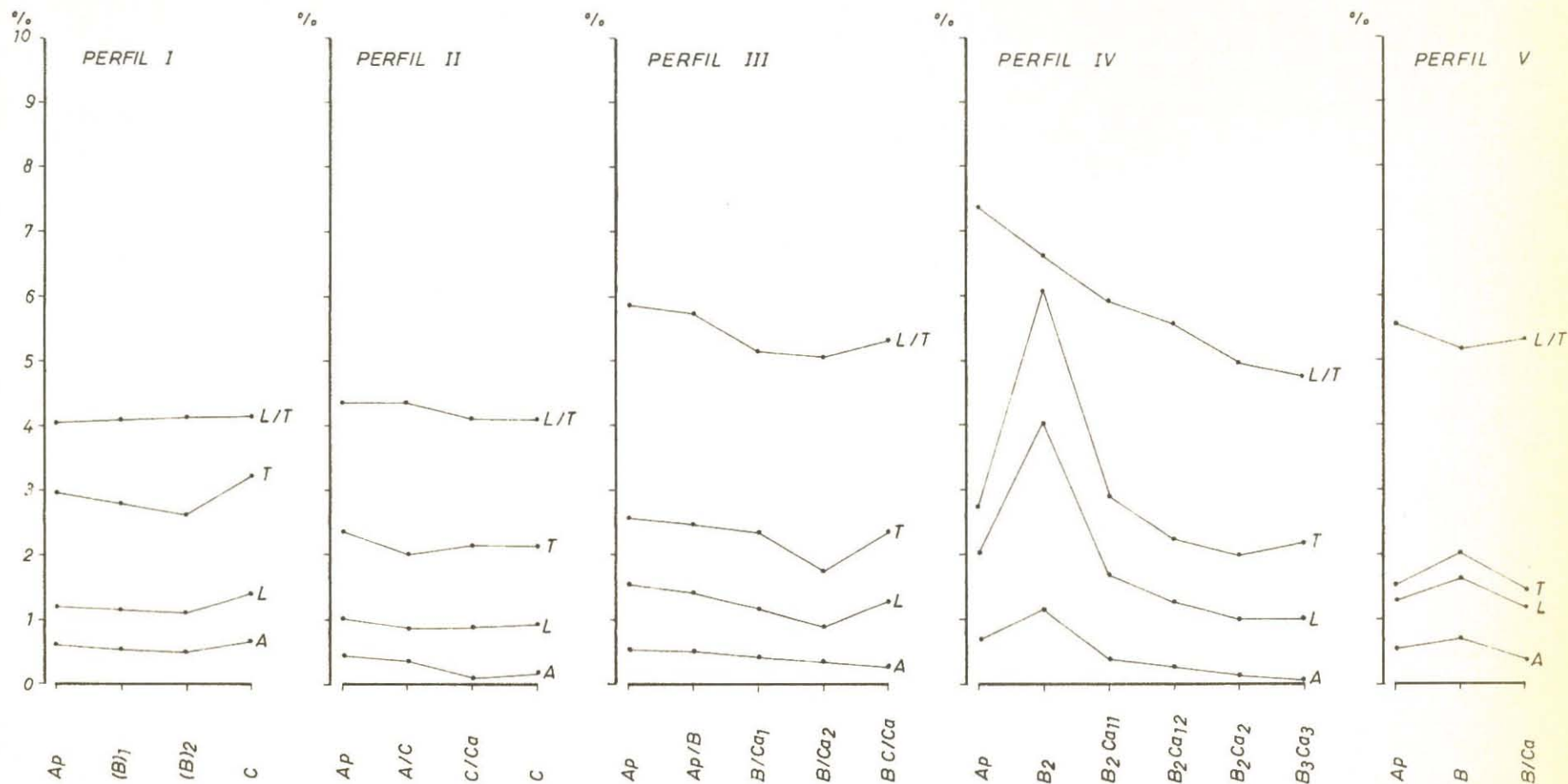


Fig. 7 Distribución de las formas de Fe_2O_3 en el perfil.

A = Fe_2O_3 amorfo (Segalen); L = Fe_2O_3 libre (Endredy); T = Fe_2O_3 total (triácido); L/T = Fe_2O_3 libre/total.

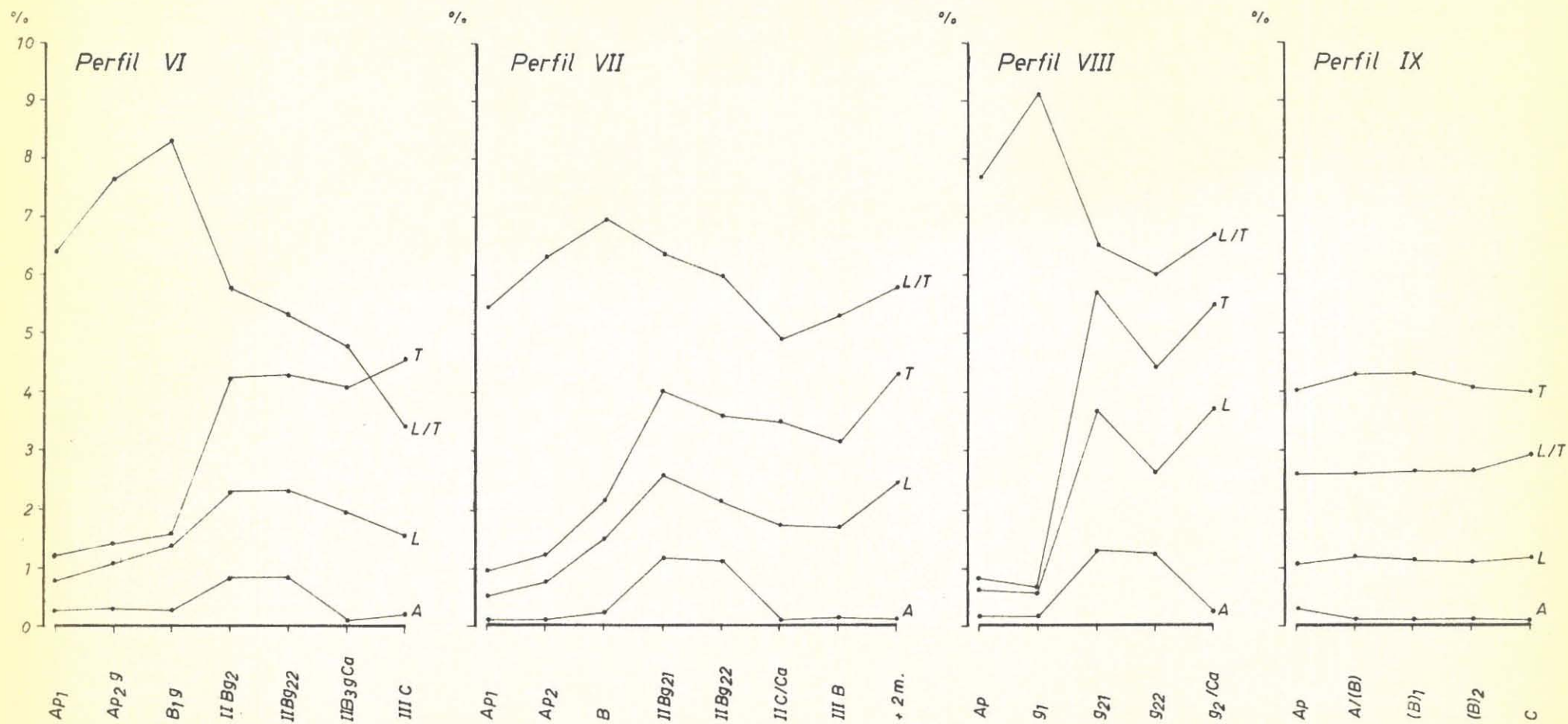


Fig. 8 Distribución de las formas de Fe_2O_3 en el perfil.

III.6 ESTUDIO MINERALOGICO DE LA ARCILLA

III.6.1 Análisis químico total de la fracción arcilla del suelo

En la tabla 9 se exponen los resultados del análisis químico total de la fracción menor de 2 micras de los suelos de la zona estudiada.

En una visión de conjunto, es de resaltar que no existen grandes diferencias en la composición química de las arcillas de los distintos suelos estudiados. De todas formas, pueden apreciarse algunas diferencias que deben corresponder al predominio de alguno de los minerales sobre los demás; este predominio podrá ser distinto en cada caso.

Así, la pérdida por calcinación, debida al agua de cristalización, varía, de unos suelos a otros, desde valores de 8 % hasta 11,6 %. Los valores más altos (superiores al 10 %) corresponden a las arcillas de los suelos rojos (perfiles IV y V) y de los suelos con pseudogleyización (perfiles VI, VII y VIII) situados en las terrazas más elevadas; y los valores más bajos (alrededor de 8 %) a las arcillas de los suelos de vega (perfiles I y II). Igualmente bajas son las pérdidas por calcinación en las arcillas de la tierra negra andaluza (perfil IX): en ningún horizonte se sobrepasa el 8,5 %. Finalmente, el perfil III presenta una clara diferencia entre los valores de la pérdida por calcinación de las arcillas de los horizontes superiores

(10,8 a 11,6 %) y los correspondientes a los horizontes más profundos (8,5 a 9,8 %). De forma general, podría apuntarse un mayor predominio de caolinita en los suelos de terrazas más altas, teniendo presente que dicho mineral es el que contiene mayor porcentaje de agua de cristalización (del orden de 14 %; Caillère y Henin, 1963).

Se ha separado la sílice correspondiente al cuarzo libre de la que pertenece a los silicatos. La primera se expresa como residuo total del ataque químico de la arcilla. Este residuo total varía desde 0,50 % en los horizontes arcillosos del perfil VIII, hasta 7,65 % en el suelo rojo mediterráneo situado en la terraza más antigua, donde existe gran cantidad de grava.

La sílice de la red cristalina de los silicatos arcillosos varía de 43 % en los suelos rojos más antiguos (perfil V), hasta 52-53 % en la tierra negra andaluza. Entre estos valores extremos se encuentran los correspondientes a los demás suelos. Parece que exista una cierta relación entre el contenido en sílice de los minerales de la arcilla y la altitud de la terraza donde se encuentra situado el suelo, si se exceptúa la tierra negra (perfil IX). Resultaría de ello, un aumento del contenido en caolinita en el suelo en función de la antigüedad del perfil, si se tiene en cuenta que este mineral es el de menor contenido en SiO_2 . Más adelante se discutirá esta interesante relación en función de otros datos.

Los porcentajes de Al_2O_3 que presentan las arcillas están comprendidos entre el 22 % para los suelos de vega y el 30 % para los suelos con pseudogley de las terrazas altas. En una visión de conjunto, puede apreciarse que los contenidos de Al_2O_3 de las arcillas aumentan desde la vega a la terraza más elevada, paralelamente a la disminución de los porcentajes de SiO_2 coloidal, como se ha visto antes. En efecto, las arcillas de los suelos de vega, vega diferenciada y pardo rojizo (perfiles I, II y III, respectivamente) presentan valores entre 21 y 23 %. Estos porcentajes pasan a ser del orden de 25 a 27,5 % en los suelos de terraza media (perfil IV), para alcanzar hasta el 30 % en la arcilla de los suelos arenosos con pseudogleización, situados en las cotas más altas. El perfil VI ofrece valores algo mayores a los que le correspondería por su situación, y el perfil V, algo menores. Por tratarse de cifras relativas, podrían explicarse ambos casos teniendo presente que en el primero existe un empobrecimiento en hierro total, y en el segundo, un enriquecimiento en sílice cuarcítica, lo cual haría aumentar el porcentaje de Al_2O_3 en el primer caso y disminuir en el segundo.

Como era de suponer, las arcillas de los suelos rojos son las que tienen un mayor contenido en Fe_2O_3 total, según puede apreciarse en la tabla 9. En efecto, los valores de Fe_2O_3 son algo superiores al 11 % en estas arcillas. Igualmente elevados son los porcentajes

que presenta el perfil VIII, donde la arcilla de los horizontes con pseudogleyización ofrece un contenido en Fe_2O_3 total comprendido entre el 10 y el 11 %. En los demás suelos, estos valores oscilan entre 7 y 10 %. La tierra negra andaluza (perfil IX) y el suelo pardo hidromorfo (perfil VI) son los que ofrecen los menores porcentajes, en ningún horizonte se alcanza el 8 %.

Comparando los datos de Al_2O_3 y Fe_2O_3 total de la arcilla con los correspondientes al suelo, se puede apreciar que la fracción fina se enriquece en estos dos óxidos.

El TiO_2 está contenido en las arcillas en proporciones que varían de 0,60 a 1,20 %. Estos porcentajes descienden con la profundidad en el perfil, siendo este descenso más pronunciado en los suelos situados en las terrazas altas; en las arcillas del perfil I (vega), el contenido en TiO_2 es uniforme en todos los horizontes. Esta secuencia en la repartición del TiO_2 en las arcillas de los distintos perfiles en relación con el nivel de terraza donde se hallan situados, podría llevar a considerar el TiO_2 como un índice del desarrollo del suelo. La incorporación del TiO_2 a la fracción fina del suelo a partir del mismo, parece estar fuera de duda si se comparan los porcentajes de éste en la tierra fina y en la arcilla.

Durante el proceso de extracción de la arcilla, los carbonatos fueron eliminados del suelo. Por consiguiente, dicha fracción está constituida principalmente

te por arcilla-H, lo que sin duda determina un empobrecimiento en bases. De acuerdo, en parte, con esta consideración, los contenidos en CaO de las arcillas estudiadas son, en general, inferiores al 2 %.

Los porcentajes de MgO son superiores a los de CaO; están comprendidos entre 1 % para las arcillas de los suelos de terraza alta y 3 % para las del suelo de vega. Estos contenidos relativamente altos de MgO en las arcillas podrían explicarse considerando, de un lado, posibles sustituciones isomorfas de Al por Mg en la red cristalina, y de otro, la existencia, en proporciones no muy elevadas, de minerales ricos en magnesio, tales como cloritas, vermiculitas, etc.. Más adelante se comentarán otros datos y se discutirán conjuntamente los resultados.

Los contenidos en potasio, expresados como K_2O , llegan a alcanzar valores algo superiores al 3 % en las arcillas del suelo pardo rojizo (perfil III); tanto este catión como el magnesio son más abundantes en las arcillas de suelos situados en terrazas bajas que en las de terrazas altas. En general, podría indicarse una mayor proporción de ilitas y micas en las arcillas con más alto porcentaje de K_2O .

Por último, como era de esperar, la presencia de sodio es poco importante. En ningún caso se llega al 1 %; incluso en algunos perfiles, la arcilla se encuentra totalmente desprovista de sodio, como sucede en la tierra negra andaluza (perfil IX).

T A B L A 9

Análisis químico total de la arcilla. % referido a muestra seca a 110° C

Perfil	Horiz.	Calc.	R.T.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O
I	Ap	7,96	5,48	47,71	22,51	9,40	0,74	0,48	3,21	2,12	0,19
	(B) ₁	8,05	4,64	47,87	22,38	9,40	0,75	0,42	3,01	2,12	0,39
	(B) ₂	8,41	4,57	47,91	22,21	9,30	0,72	0,39	3,00	2,05	0,29
	C	8,40	3,90	48,96	22,20	9,40	0,75	0,48	3,13	2,12	0,39
II	Ap	8,65	3,75	47,70	23,38	9,22	0,80	0,42	2,61	2,35	0,78
	A/C	8,99	3,82	47,19	23,06	9,22	0,75	0,42	2,71	2,35	0,29
	II CCa	8,14	4,75	45,84	24,54	9,62	0,69	0,62	2,79	2,12	0,39
	II C	8,11	6,47	45,98	22,76	9,83	0,69	0,56	2,91	1,76	0,39
III	Ap	11,61	3,56	47,03	21,50	8,75	0,69	0,60	1,94	3,36	0,34
	ApB	10,88	3,05	47,95	21,70	8,75	0,69	0,67	1,97	3,22	0,30
	BCa ₁	9,84	3,19	47,76	22,50	8,75	0,68	0,91	2,09	3,16	0,35
	BCa ₂	8,80	2,55	48,14	23,00	9,30	0,66	1,12	2,21	2,74	0,32
	BCCa	8,56	3,12	48,24	22,75	9,30	0,65	1,01	2,31	2,71	0,38

.....//.....

T A B L A 9 (continuación)

Perfil	Horiz.	Calc.	R.T.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O
IV	Ap	10,82	0,85	45,82	27,50	11,00	0,81	0,26	1,15	2,02	0,47
	B ₂	10,62	0,58	46,13	27,50	11,30	0,79	0,33	1,18	1,96	0,42
	B ₂ Ca ₁₁	11,62	1,10	45,03	25,50	10,50	0,73	2,45	1,45	1,93	0,43
	B ₂ Ca ₁₂	11,47	1,10	45,64	25,00	10,00	0,73	2,66	1,55	1,90	0,47
	B ₂ Ca ₂	10,28	1,50	45,88	25,50	10,00	0,71	2,88	1,70	2,00	0,54
	B ₃ Ca ₃	10,20	3,16	46,05	23,50	9,60	0,68	2,66	2,00	2,11	0,54
V	Ap	10,21	7,65	43,11	25,25	9,75	0,74	0,38	0,85	1,53	0,24
	B	10,17	6,65	43,17	25,75	10,25	0,63	0,25	0,80	1,51	0,25
	B/Ca	10,03	7,27	43,12	26,20	11,00	0,58	0,31	0,82	1,48	0,39
VI	Ap ₁	9,53	0,96	47,88	29,51	6,46	1,10	0,53	2,85	1,16	0,00
	Ap _{2g}	9,53	0,83	47,98	29,87	6,77	0,83	0,56	1,99	1,23	0,00
	B _{1g}	9,76	0,80	47,93	28,47	7,21	0,85	0,93	2,68	1,87	0,10
	IIB _{21g}	9,88	0,92	48,11	28,56	7,31	0,72	0,59	2,75	2,01	0,34
	IIB _{22g}	9,84	0,98	48,12	28,07	6,76	0,62	0,76	2,73	1,96	0,30
	IIB _{3g} Ca	9,34	1,23	48,16	28,98	6,56	0,63	1,17	2,71	1,18	0,18
	III C	9,61	1,42	48,83	28,31	6,72	0,63	0,75	2,62	1,02	0,10

.....//.....

T A B L A 9 (continuación)

Perfil	Horiz.	Calc.	R.T.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O
VII	Ap ₁	9,83	7,52	41,27	28,22	9,29	1,34	0,22	0,81	2,30	0,06
	Ap ₂	9,52	4,02	43,51	29,58	9,98	1,20	0,21	0,82	2,06	0,06
	B	10,48	2,04	44,37	30,00	9,87	0,98	0,31	0,63	1,69	0,06
	IIBg ₂₁	10,05	1,55	47,80	29,02	8,58	0,80	0,41	1,02	1,41	0,06
	IIBg ₂₂	9,88	2,28	48,00	27,31	8,87	0,80	0,55	1,10	1,41	0,06
	IIC Ca	9,08	4,53	47,60	26,01	8,94	0,30	0,66	1,44	1,60	0,06
	III C	9,05	5,00	46,39	25,86	9,37	0,30	0,46	1,73	1,97	0,06
	+ 2 m	9,52	3,10	46,54	27,01	9,72	0,77	0,47	1,31	1,97	0,06
VIII	Ap	9,37	3,45	47,21	26,50	10,05	0,95	1,05	0,98	1,41	0,77
	g ₁	8,99	5,22	45,14	25,49	9,57	1,22	0,35	0,96	1,32	0,77
	g ₂₁	10,16	0,67	44,82	29,37	10,92	0,79	0,59	0,96	1,32	0,54
	g ₂₂	9,88	0,54	45,59	29,25	10,80	0,75	0,42	1,00	1,41	0,39
	g ₂ /Ca	9,63	0,65	46,01	27,86	11,38	0,69	0,59	1,41	1,64	0,85
IX	Ap	8,43	3,52	52,19	23,53	7,87	1,03	0,78	1,69	1,88	0,00
	A(B)	8,33	3,43	52,80	23,11	7,62	1,02	0,73	1,61	1,88	0,00
	(B) ₁	8,26	3,18	53,37	23,57	7,69	1,02	0,53	1,76	1,69	0,00
	(B) ₂	8,16	3,67	52,63	23,54	7,62	1,04	0,50	1,78	1,79	0,00
	C	8,18	3,43	52,09	23,82	7,76	0,97	0,50	1,96	1,79	0,00

III.6.2 Razones moleculares sílice/sesquióxidos en las arcillas

La tabla 10 contiene las razones $\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3$, $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ y $\text{SiO}_2/\text{Fe}_2\text{O}_3$ de las arcillas de los horizontes correspondientes a los distintos perfiles.

Como se sabe, debido a la probable existencia de sustituciones isomorfas, comprobadas por numerosos autores, a la alteración más o menos intensa de los minerales de la arcilla, a la presencia de óxidos libres, principalmente de hierro, y a otras causas, dichas razones moleculares tienen un significado relativo. De todas formas, el cálculo e interpretación de las mismas puede ser útil para indicar la posible naturaleza de los minerales predominantes.

En los suelos de vega y pardo rojizo (perfiles I, II y III, respectivamente), las razones moleculares presentan los valores más altos. Así, la razón $\text{SiO}_2/\text{Fe}_2\text{O}_3$ tiene un valor superior a 13,5 en todos los horizontes y alcanza un máximo de 14,5 en los horizontes superiores del suelo pardo rojizo. Como se comentará más adelante, estas razones son más bajas en las arcillas de los suelos rojos, que contienen mayor proporción de Fe_2O_3 . Puesto que la razón $\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3$ es relativamente alta, alrededor de 3,0, cabe pensar que en los citados perfiles la proporción de caolinita en la arcilla debe ser pequeña y por el contrario predominen minerales del tipo de montmorillonita, ilita, clorita, etc. Los altos valores de la razón $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$, algo superiores a

3,5, y los contenidos en K_2O , comentados en otro lugar, permiten considerar que la illita debe ser el mineral más importante.

Los suelos rojos representados por los perfiles IV y V, ofrecen las razones más bajas. Los valores de 11,0 a 12,0 para SiO_2/Fe_2O_3 indican la existencia de una cantidad apreciable de óxidos libres de hierro, por lo que la razón SiO_2/R_2O_3 no es muy significativa. A pesar de todo, el que sea inferior a 2,5 en todos los horizontes de ambos suelos, apunta la posible presencia de minerales del grupo del caolín. Más precisa es la razón SiO_2/Al_2O_3 que tiene un valor de 2,8 a 2,9 en el perfil V y un poco superiores en los horizontes profundos del perfil IV. Estos valores, en general inferiores a 3,0, están de acuerdo con la interpretación dada a la razón SiO_2/R_2O_3 .

Las arcillas del perfil IX, tierra negra andaluza, tienen las razones SiO_2/Fe_2O_3 más altas, del orden de 17,0 a 19,0. Sin duda influye el alto porcentaje de SiO_2 , pero puede pensarse también en una menor proporción de óxidos de hierro. Por otro lado, la existencia de numerosas concreciones ferruginosas podría explicar el empobrecimiento en Fe_2O_3 de la fracción fina de este perfil y del perfil VI. Las arcillas de la tierra negra presentan valores altos en las razones SiO_2/R_2O_3 y SiO_2/Al_2O_3 , algo superior a 3,0 y cerca de 4,0, respectivamente; estos altos valores convienen a una

naturaleza predominantemente montmorillonítica.

Respecto a los perfiles VI, VII y VIII, existen ciertas diferencias que interesan comentar. En efecto, mientras que el perfil VII presenta marcadas diferencias entre las razones molares de las arcillas de los horizontes superficiales y profundos, en el perfil VIII, estas diferencias son más pequeñas. En el perfil VII, la razón $\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3$ tiene un valor de 2,0 en los tres primeros horizontes, y oscilando entre 2,35 y 2,55, en los horizontes más profundos. En el perfil VIII, por el contrario, con valores para las razones $\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3$ y $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ algo superiores a 2,0, y próximas a 3,0, respectivamente, parece contener arcillas con predominio de caolinita.

Finalmente, las arcillas del perfil VI tienen razones molares $\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3$ y $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ que vienen a situarse entre los indicados para los perfiles I, II, III y IX y los restantes (IV, V, VII y VIII). No ocurre así con la razón $\text{SiO}_2/\text{Fe}_2\text{O}_3$, cuyos valores son los más altos, como se comentó anteriormente.

Como más adelante se discutirá. Las razones molares expuestas y comentadas no solo permiten mostrar la posible naturaleza fundamental de las arcillas, sino que al mismo tiempo, pueden ser útiles para establecer secuencias evolutivas en los suelos.

TABLA 10

Relaciones molares sílice a sesquióxidos

Perfil	Horiz.	$\frac{\text{SiO}_2}{\text{R}_2\text{O}_3}$	$\frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3}$	$\frac{\text{SiO}_2}{\text{Fe}_2\text{O}_3}$
I	Ap	2,84	3,59	13,46
	(B) ₁	2,86	3,62	13,51
	(B) ₂	2,89	3,66	13,76
	C	2,94	3,74	13,81
II	Ap	2,76	3,45	13,88
	A/C	2,77	3,48	13,55
	II CCa	2,54	3,17	12,72
	II C	2,68	3,43	12,36
III	Ap	2,94	3,71	14,24
	ApB	2,98	3,75	14,51
	BCa ₁	2,88	3,60	14,45
	BCa ₂	2,82	3,55	13,81
	BCCa	2,86	3,57	13,84
IV	Ap	2,25	2,83	11,06
	B ₂	2,25	2,84	10,82
	B ₂ Ca ₁₁	2,36	3,00	11,03
	B ₂ Ca ₁₂	2,46	3,09	12,06
	B ₂ Ca ₂	2,45	3,06	12,13
	B ₃ Ca ₃	2,63	3,32	12,78

.....//.....

.....//.....

T A B L A 10 (continuación)

Perfil	Horiz.	$\frac{\text{SiO}_2}{\text{R}_2\text{O}_3}$	$\frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3}$	$\frac{\text{SiO}_2}{\text{Fe}_2\text{O}_3}$
V	Ap	2,32	2,89	11,77
	B	2,27	2,84	11,23
	B/Ca	2,20	2,79	10,41
VI	Ap ₁	2,42	2,75	19,73
	Ap ₂	2,39	2,74	18,84
	B _{1g}	2,46	2,86	17,69
	II B _{21g}	2,46	2,86	17,49
	II B _{22g}	2,53	2,91	18,94
	II B _{3g} Ca	2,47	2,82	19,51
	III C	2,54	2,92	19,31
VII	Ap ₁	2,05	2,48	11,85
	Ap ₂	2,05	2,50	11,49
	B	2,08	2,51	11,92
	II Bg ₂₁	2,35	2,79	14,74
	II Bg ₂₂	2,47	2,98	14,27
	II CCa	2,55	3,11	14,16
	III C	2,47	3,04	13,09
	+ 2 m	2,38	2,93	12,71

.....//.....

.....//.....

T A B L A 10 (continuación)

Perfil	Horiz.	$\frac{\text{SiO}_2}{\text{R}_2\text{O}_3}$	$\frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3}$	$\frac{\text{SiO}_2}{\text{Fe}_2\text{O}_3}$
VIII	Δ_p	2,43	3,00	12,47
	ξ_1	2,35	2,89	12,53
	ξ_{21}	2,10	2,59	10,98
	ξ_{22}	2,14	2,64	11,16
	ξ_2/Ca	2,23	2,81	10,79
IX	Δ_p	3,10	3,76	17,73
	$\Delta(\text{B})$	3,20	3,87	18,31
	$(\text{B})_1$	3,18	3,83	18,52
	$(\text{B})_2$	3,14	3,79	18,25
	C	3,08	3,73	17,73

III.6.3 Estudio roentgenográfico de las arcillas

Perfil I

Los diagramas de polvo (tabla 11) presentan difracción sobre 14 Å, cuya intensidad aumenta con la profundidad en el perfil, atribuible a montmorillonita, clorita, vermiculita y minerales interestratificados; difracción fuerte a 10 Å con una banda hacia espaciados más altos, que junto a la de 1,60-1,70 Å, caracteriza a un mineral illítico; difracción a 7,13 Å de intensidad media a fuerte que puede deberse a caolinita, meta-halloysita, clorita, etc.; difracción media a 1,50 Å y débil a 1,54 Å, característica, la primera, de minerales dioctaédricos y de minerales trioctaédricos y cuarzo, la segunda. Este último componente se señala también por las difracciones a 4,24, 3,34, 1,81 Å, etc. Así mismo parece existir algo de carbonato cálcico, -no eliminado en el ataque previo-, como se comprueba por la difracción a 3,00 Å; también aparecen una serie de difracciones atribuibles a oxalatos formados durante la eliminación del hierro libre en las arcillas por el método Endredy (1963), como son las 6,55 Å, 6,23 Å, 5,53 Å y otras. Por último se pueden ver en las tablas una serie de difracciones correspondientes a los minerales ya mencionados.

En los diagramas de agregados orientados, previa saturación en Mg^{++} (tabla 12), se presenta una banda amplia sobre 14 Å cuya intensidad aumenta con la profundidad; difracciones (F) a 10 Å y una difracción

bien definida a 7,13 Å. (M y M-F). Al solvatar con glicerol, la difracción de 14 Å aumenta a 18,4 Å, mostrando así la presencia de un mineral hinchable, montmorillonita.

Si la muestra se calienta a 350° C persiste una débil difracción a 14 Å, intensificándose notablemente la de 10 Å. Esto, unido a la difracción a 4,72 (muy débil) y al doblete 3,50-3,57 Å (ver diagrama de polvo), indica la existencia de proporción muy pequeña de clorita. La presencia de caolinita se deduce de la persistencia al ataque ácido de la difracción a 7,13 Å.

Los datos y comentarios expuestos y realizados, permiten indicar que la illita es el mineral predominante en el perfil, apareciendo juntamente con la caolinita en proporción constante en todos los horizontes; la montmorillonita aumenta con la profundidad. Como mineral accesorio existe cuarzo, que disminuye en los horizontes más profundos.

d (A)	Ap	I	d (A)	(B) ₁	I	d (A)	(B) ₂	I	d (A)	C	I
16,70		banda	14,70		banda	16,66		banda	15,23		banda
13,38		débil	13,59		media	14,24		media	14,24		fuerte
9,98		F	10,04		F	10,04		F	10,04		M-F
7,13		M-F	7,13		M-F	7,13		M-F	7,13		M-F
6,23		mD	6,55		mD	6,37		D	6,46		mD
5,86		mD	5,53		mD	5,98		D	5,57		D
4,98		M	4,98		M-F	4,95		M-F	4,98		M
4,72		mD	4,72		mD	4,72		mD	4,72		mD
4,46		F	4,46		F	4,44		F	4,46		F
4,25		M	4,25		M	4,25		M	4,23		M
3,88		D	3,70		D	3,77		mD	4,13		D
3,57		M	3,56		M	3,56		M-F	3,56		M-F
3,50		M	3,49		M	3,50		D	3,50		D
3,34		mF	3,34		mF	3,34		mF	3,34		mF
3,18		M	3,22		D	3,24		D	3,25		D
2,99		mD	2,98		D	2,99		mD	3,18		D-M
2,85		D	2,85		mD	2,86		mD	2,99		mD
2,49		D	2,56		F	2,56		M-F	2,86		D
2,45		D	2,45		mD	2,45		mD	2,56		M-F
2,38		D	2,37		mD	2,38		D	2,45		D
2,25		mD	2,28		mD	2,27		mD	2,39		mD
2,19		D	2,19		mD	2,12		D	2,28		mD
2,12		D-M	2,12		D	1,99		M-F	2,12		D
1,99		M	1,99		M-F	1,81		D	1,99		M
1,81		D	1,81		D	1,61		banda	1,81		D
1,62		banda	1,64		banda	1,68		media	1,68		banda
1,64		media	1,69		débil	1,54		D	1,61		media
1,54		D	1,54		D	1,49		M-D	1,54		D
1,50		M	1,50		M				1,50		M

T A B L A 12

	A _p		(B) ₁		(B) ₂		C	
	d (Å)	I	d (Å)	I	d (Å)	I	d (Å)	I
Agregados orientados	15,23	banda	15,72	banda	16,66	banda	14,48	F
	14,24	media	14,24	media	14,02	media	10,04	mF
	10,04	F	10,04	mF	10,04	F	7,13	M-F
	7,13	M	7,13	M-F	7,13	M		
Agregados orientados sol- vatados con glicerol	20,06	banda	21,02	banda	21,02	banda	18,02	F
	13,39	dóbil	18,02	D-M	18,02	D-M	10,04	mF-F
	10,04	F-M	10,04	mF	10,04	F	7,13	M
	7,13	D-M	7,13	M	7,13	M		

Perfil II

En los diagramas de polvo (tabla 13) se pueden observar difracciones a 14 Å atribuibles, en principio a montmorillonita, clorita, vermiculita e interestratificados. La difracción a 14 Å es débil en los dos primeros horizontes, se intensifica en el 3º y se presenta fuerte en el horizonte más profundo. En este mismo orden, pero de forma más acentuada, aparece en los diagramas de agregados orientados y saturados en Mg^{++} . Una vez solvatados estos con glicerol, la difracción de 14 Å pasa a 18 Å aproximadamente. Si se calientan a unos 400º C las muestras de agregados orientados, se puede apreciar la persistencia de una pequeña difracción a 14 Å en los dos horizontes más profundos. Esto unido al doblete 3,50-3,57 Å y a la difracción a 4,70 Å indica la presencia de una pequeña cantidad de clorita, sobre todo en el horizonte C.

En los diagramas de polvo es la difracción a 10 Å la más importante. Esta se acentúa, como era de esperar, en los correspondientes a agregados orientados y saturados en Mg^{++} (tabla 14). Asimismo pueden observarse difracciones importantes a 5 Å, 4,48 Å, 2,98 Å, 2,56 Å y una banda a 1,64-1,70 Å. Todo indica que la illita es el mineral dominante en las arcillas del perfil.

A 7,13 Å existe una difracción que, junto con las observadas a 3,57 Å, 3,36 Å, 2,56 Å, 2,49 Å, 2,36 Å y otras indican la presencia de caolinita en todos los

horizontes.

Otras difracciones, comprendidas entre 5,70 Å y 6,70 Å, pueden ser atribuidas a oxalatos formados durante el proceso de extracción del hierro por el método Endredy. Por último, hay que resaltar las difracciones a 4,26 Å, 3,36 Å, 2,46 Å y 2,28 Å propias del cuarzo.

En resumen, puede decirse que la illita es el mineral dominante en el perfil, aunque en el horizonte C existe también proporción importante de montmorillonita; la caolinita se encuentra en todos los horizontes. Por último hay que señalar la presencia de clorita en muy pequeña cantidad y cuarzo, constantemente, como mineral accesorio de las arcillas del perfil.

T A B L A 13

Ap		A/C		CCa		C	
d (Å)	I	d (Å)	I	d (Å)	I	d (Å)	I
14,71	banda	15,23	banda	15,49	banda	15,22	banda
13,38	m.débil	14,24	débil	14,02	D-M	14,24	M-F
10,04	F-M	10,04	F	10,04	F	10,04	F
7,13	M-D	7,13	M	7,13	M	7,13	M
6,75	mD	6,65	mD	5,94	mD	6,28	mD
5,01	M	5,01	M	5,01	M	4,98	M
4,48	F	4,48	F	4,46	F	4,46	F
4,26	M	4,26	M	4,25	M	4,25	M
3,86	mD	4,12	D	4,15	mD	3,72	mD
3,75	D	3,86	D	3,88	D	3,57	M
3,59	D	3,74	D	3,72	D	3,52	M
3,52	M	3,57	D	3,57	D-M	3,34	mF
3,36	mF	3,50	D-M	3,49	D-M	3,21	D-M
3,21	M	3,35	mF	3,34	mF	?;99	D
2,98	M	3,21	D	3,21	D	2,86	mD
2,86	D	2,99	D	2,99	D-M	2,78	mD
2,79	D	2,89	mD	2,86	D	2,56	M-F
2,56	F	2,79	mD	2,77	D	2,45	D
2,45	D	2,56	F	2,56	F	2,38	D
2,38	D	2,46	M	2,46	D-M	2,34	mD
2,35	D	2,38	D-M	2,38	D-M	2,28	mD
2,28	D	2,28	mD	2,35	D	2,24	mD
2,24	D	2,24	D	2,28	mD	2,13	D-M
2,13	M	2,13	D-M	2,13	D-M	1,99	M-F
1,99	M	1,99	M	1,99	M	1,82	D
1,82	M	1,82	D	1,82	D-M	1,66	banda
1,65	banda	1,65	banda	1,68	banda	1,63	media
1,67	media	1,70	media	1,65	media	1,54	D
1,54	D	1,54	D-M	1,54	mD	1,50	M
1,50	M	1,50	M	1,50	M		

T A B L A 14

	A _p		A/c		CCa		C	
	d (Å)	I	d (Å)	I	d (Å)	I	d (Å)	I
Agregados orientados	15,49	banda	16,66	banda	14,72	banda	14,72	mF
	13,80	mD	14,97	mD	14,02	fuerte	10,15	F
	10,04	M	10,15	mF	10,04	mF	7,19	M
	7,13	D	7,13	M	7,19	M		
Agregados orientados solvatados con glicerol	19,19	banda	19,62	banda	19,62	banda	19,19	mF
	17,31	mD	16,04	mD	18,39	media	10,04	mF
	10,04	M	10,04	mF	10,04	mF	7,13	F-M
	7,19	D	7,13	M-D	7,13	M-D		

Perfil III

Los diagramas de polvo (tabla 15) presentan una difracción sobre los 14 Å, apenas perceptible en el horizonte superficial y muy pronunciada en los profundos, que puede ser atribuida en principio a montmorillonita, vermiculita, clorita e interestratificado. A 10,26 Å se puede observar la siguiente difracción que unida a las que se da a 5,00 Å, 4,45 Å, 3,88 Å, 3,54 Å, 2,99 Å, 2,56 Å, la banda a 1,64 - 1,70 Å, etc., demuestra la presencia de illita en todos los horizontes. A 7,13 Å se registra una difracción de intensidad débil que se acentúa un poco al descender en el perfil, debido quizás a una mejor cristalización; esta difracción junto con las presentes a 3,53 Å, 2,56 Å, 2,38 Å, 1,99 Å, 1,54 Å, etc., indica la existencia de caolinita en todos los horizontes no en gran proporción. Por último, las difracciones a 4,26 Å, 3,34 Å, 1,81 Å y 1,54 Å caracterizan al cuarzo. En este perfil se han realizado diagramas en polvo de las arcillas sin previa eliminación de hierro; así se ha podido determinar la presencia de goethita según se demuestra por las difracciones a 4,17 Å, 2,69 Å, 2,45 Å principalmente.

Los diagramas de agregados orientados (tabla 16) acentúan la intensidad de las difracciones a 7,13 Å, 10,06 Å y 14,00 Å, solvatándolos con glicerol, se separa de forma clara las difracciones a 10,06 Å de las

de 14 Å. Estas pasan a 18,00 Å, lo que demuestra la presencia de un mineral hinchable. Si se saturan en Mg^{++} y se solvatan en glicerol las muestras, puede observarse de nuevo el desplazamiento hacia espaciados más altos (18,0 Å) de la difracción a 14,00 Å. Esto indica la existencia de montmorillonita.

En resumen, en este perfil hay una diferenciación mineralógica entre las arcillas de los horizontes superficiales (Ap y ApB) y los horizontes profundos (BCa₁, BCa₂ y BCCa). En los primeros predomina la illita y en los segundos, la montmorillonita; siendo el contenido en caolinita inferior y constante en todo el perfil. Asimismo, existen cuarzo y goethita como minerales accesorios, aunque el contenido en este último es muy pequeño.

T A B L A 15

Ap		ApB		BCa ₁		BCa ₂		BCCa	
d (Å)	I	d (Å)	I	d (Å)	I	d (Å)	I	d (Å)	I
14,24	mD	13,86	mD	13,86	D-mD	13,86	M	13,86	M-F
10,26	D-mD	10,26	D-mD	10,26	D-mD	10,26	D-mD	10,26	D-mD
7,13	D	7,13	D	7,13	D	7,13	D	7,13	D
5,00	D	5,00	D	5,00	D	5,00	D	5,00	D
4,45	F	4,45	mF	4,45	F	4,45	F	4,48	F
4,26	mD	4,26	D	4,26	D-mD	4,26	D-mD	4,26	D-mD
4,17	mD	4,16	mD	4,17	mD	4,17	mD	4,14	mD
3,88	mD	3,86	mD	3,88	mD	3,86	mD	3,88	mD
3,72	mD	3,72	mD	3,72	D	3,55	D	3,53	D
3,53	D	3,53	D	3,53	D	3,34	F	3,34	F
3,34	F	3,34	F	3,34	F	2,99	mD	2,99	D-mD
2,97	D	2,99	D	2,99	D	2,84	mD	2,86	mD
2,86	mD	2,86	mD	2,85	mD	2,69	mD	2,77	mD
2,79	mD	2,56	F	2,69	mD	2,56	F-M	2,69	mD
2,69	mD	2,45	D	2,56	F-M	2,44	D-mD	2,56	M-F
2,56	M-F	2,38	D	2,46	D	2,38	D-mD	2,45	mD
2,44	D	2,28	mD	2,38	D	2,24	mD	2,38	mD
2,38	mD	2,23	D-mD	2,25	D-mD	2,17	mD	2,28	mD
2,24	mD	2,18	D-mD	2,13	mD	2,13	mD	2,19	mD
2,19	mD	2,13	mD	1,98	D	1,99	D	2,13	mD
1,98	D	1,98	D	1,81	mD	1,81	mD	1,99	D
1,81	D-mD	1,81	mD	1,69	banda	1,69	banda	1,81	mD
1,68	banda	1,70	banda	1,65	dóbil	1,65	dóbil	1,70	banda
1,65	D-M	1,64	D-M	1,54	D-mD	1,54	D	1,64	dóbil
1,54	D-mD	1,54	D	1,50	M	1,50	M	1,54	D
1,50	M	1,50	M					1,50	M

T A B L A 16

	Ap		ApB		BCa ₁		BCa ₂		BCCa	
	d (Å)	I	d (Å)	I	d (Å)	I	d (Å)	I	d (Å)	I
Agregados orientados	15,54	banda	13,86	banda	13,86	F	13,49	mF	13,49	mF
	12,82	mD	12,82	débil	10,06	F-M	10,04	F	10,26	F
	10,26	M	10,26	M-F	7,13	D-M	7,13	D-M	7,13	D
Agregados orientados solvatados con glicerol	18,98	banda	18,98	banda	18,98	M-F	17,68	mF	17,68	mF
	17,09	mD	18,31	débil	10,06	M-F	10,06	F	10,06	F
	10,06	M	10,06	M-F	7,13	D	7,13	D-M	7,13	D
	7,13	D	7,13	D						

Perfil IV

En los diagramas de polvo (tabla 17) se presenta una primera difracción correspondiente a espaciados de 15 Å, atribuibles, en principio, a montmorillonita, clorita, vermiculita e interestratificados. Una segunda difracción se observa a 10 Å, que unida a las presentes a 4,95 Å, (D), 4,45 Å (mF y F), 2,34 Å (F), 2,85 Å (D), 2,56 Å (M-F) y a la banda a 1,64 - 1,70 Å, indica la presencia de una proporción constante de illita en todos los horizontes. La difracción a 7,13 Å, de intensidad media a débil, junto a las 3,55 Å, 2,56 Å, 2,37 Å, 2,24 Å, y otras, demuestran la existencia de caolinita en todo el perfil. Por último, las difracciones a 4,26 Å, 3,34 Å y 1,81 Å son características del cuarzo.

Los diagramas de agregados orientados (tabla 18) presentan las difracciones a 14 Å, 10 Å y 7,13 Å de forma más acentuada, apreciándose que la difracción a 14 Å se intensifica con la profundidad del perfil, mientras que las de 10 Å y 7,13 Å se mantienen constantes en todos los horizontes.

Si se saturan las muestras en Mg^{++} y se solvatan con glicerol, la difracción a 14 Å pasa a 18 Å, lo que demuestra la presencia de un mineral hinchable, montmorillonita en estas condiciones de saturación.

En las arcillas de este perfil se han realizado, además, diagramas sin previa eliminación de hierro. Así se ha llegado a caracterizar la goethita como se deduce de las difracciones registradas a 4,16 Å, 2,69 Å y 2,45 Å.

Después de esta discusión, se puede afirmar que la montmorillonita es el mineral presente en mayor proporción; ésta aumenta con la profundidad, alcanzando la mayor intensidad en los horizontes B/Ca. Illita y caolinita se encuentran en cantidades menores y constantes en todos los horizontes. Como minerales accesorios se encuentran cuarzo y una pequeña proporción de goethita.

A _p		B ₁		B ₂ Ca ₁₁		B ₂ Ca ₁₂		B ₂ Ca ₂		B ₃ Ca ₃	
d (Å)	I	d (Å)	I	d (Å)	I	d (Å)	I	d (Å)	I	d (Å)	I
15,08	D	14,25	M	15,08	F	14,65	F	14,65	F	15,08	mF
10,26	D	10,26	D-mD	10,26	D	10,26	D	10,26	D	10,26	D
7,13	D-M	7,13	M-F	7,13	D-M	7,13	D-M	7,13	D	7,13	D
4,95	D	4,95	D	4,95	D	5,00	D	4,95	mD	5,00	D
4,45	mF	4,45	mF	4,48	F	4,45	F	4,45	F	4,45	F
4,26	M-F	4,26	M-F	4,26	M-D	4,26	M-D	4,26	M-D	4,23	M
4,16	D	3,83	mD	3,53	M-D	3,55	M-D	3,54	D	3,55	D
3,53	D-M	3,55	M-D	3,35	M-F	3,34	M-F	3,34	M-F	3,34	F
3,34	F	3,35	F	3,20	mD	3,20	mD	2,86	D	2,86	mD
3,09	mD	3,01	D	2,85	D	2,85	D-mD	2,68	mD	2,56	M-F
2,99	D	2,86	D	2,69	mD	2,69	mD	2,56	M-F	2,45	mD
2,85	D	2,69	mD	2,56	M-F	2,56	M-F	2,45	mD	2,27	mD
2,69	D	2,55	F	2,45	mD	2,45	mD	2,27	mD	2,24	mD
2,56	F	2,45	mD	2,37	mD	2,37	mD	2,17	mD	2,17	mD
2,44	D	2,38	mD	2,28	D	2,27	mD	1,99	D	2,12	mD
2,37	mD	2,17	mD	2,24	mD	1,98	mD	1,81	mD	1,99	mD
2,24	mD	2,12	mD	2,10	mD	1,81	mD	1,69	banda	1,81	mD
2,12	mD	1,98	D	1,98	mD	1,70	banda	1,65	D-M	1,69	banda
1,98	D	1,81	D-mD	1,81	mD	1,64	media	1,54	mD	1,64	D-M
1,81	D-mD	1,68	banda	1,69	banda	1,54	mD	1,50	M	1,54	mD
1,69	banda	1,64	D-M	1,66	media	1,50	M			1,50	M
1,65	D-M	1,54	D	1,54	mD						
1,54	D	1,50	M	1,50	M						
1,50	M										

TABLA 18

	A _p		B ₁		B ₂ Ca ₁₁		B ₂ Ca ₁₂		B ₂ Ca ₂		B ₃ Ca ₃	
	d (Å)	I	d (Å)	I	d (Å)	I	d (Å)	I	d (Å)	I	d (Å)	I
Agregados orientados	14,65	F	14,24	F	14,65	mF	14,24	mF	14,24	mF	14,24	mF
	10,26	D	10,26	D	10,26	D-M	10,26	∅	10,25	D	10,26	D
	7,13	D-M	7,13	D-M	7,13	D-M	7,13	∅	7,13	D	7,13	D
Agregados orientados solvatados con glicerol	18,31	F	17,68	F	17,68	mF	18,31	mF	17,68	F	18,31	F
	10,06	D-M	10,06	D-M	10,06	M	10,06	D-M	10,06	D-M	10,06	D-M
	7,13	D-M	7,13	D-M	7,13	M	7,13	D-M	7,13	D	7,13	D

Perfil V

Los diagramas de polvo (tabla 19) presentan difracciones sobre 14 Å, atribuibles en principio a montmorillonita, clorita, vermiculita e interestratificados; difracciones a 10,26 Å, que unidas a las registradas a 4,95 Å (D), 2,45 Å (F), 2,98 Å (mD), 2,86 Å (mD), 2,56 Å (M) y a la banda a 1,64 - 1,70 Å, permiten afirmar la presencia de illita en proporción que se mantiene constante en todo el perfil; difracciones a 7,13 Å (F), más intensas que las de 10 Å, que junto con las presentes a 3,55 Å (F-M), 2,56 Å (m), 2,34 Å (mD), 2,23 Å, 2,12 Å, 1,54 Å y otras, muestran la presencia de caolinita; y finalmente difracciones a 4,26 Å, 3,34 Å, 1,81 Å y 1,54 Å, características del cuarzo.

En los diagramas de agregados orientados (tabla 20), las difracciones a 14 Å, 10,06 Å, 7,13 Å están más acentuadas, como cabía esperar. Hay que solvatarlos con glicerol para distinguir de forma clara la difracción de 14 Å de la de 10 Å. Si se saturan estos agregados orientados en Mg^{++} y se solvatan con glicerol, la difracción a 14 Å pasa a 18 Å, demostrándose la presencia de un mineral hinchable que no puede ser más que montmorillonita.

Por último, se han realizado diagramas en muestras de arcillas sin eliminar hierro, por lo que se ha

podido registrar la presencia de goethita en todos los horizontes como se demuestra por las difracciones a 2,69 Å, y 2,45 Å principalmente.

En resumen, se puede apreciar una gran uniformidad en la composición mineralógica de las arcillas del perfil, siendo la caolinita el mineral que predomina en todos los horizontes, y especialmente en el B. En orden de frecuencia siguen illita y montmorillonita. Finalmente hay que resaltar la presencia de goethita y, de una proporción bastante considerable de cuarzo.

d (Å)	Ap	d (Å)	B	d (Å)	B/Ca
	I		I		I
15,08	banda	14,65	banda	14,65	banda
13,15	débil	13,49	débil	13,15	débil
10,26	D	10,26	D	10,26	D
7,13	F	7,13	F	7,13	F
4,95	D	5,00	D	4,96	D
4,45	F	4,45	F	4,45	F
4,26	F	4,26	F	4,26	F
3,57	F-M	3,55	M-F	3,55	F-M
3,34	mF	3,34	mF	3,34	mF
2,98	D-mD	2,98	mD	3,11	mD
2,83	mD	2,88	mD	2,98	D-mD
2,69	D-mD	2,69	D-mD	2,86	mD
2,56	M	2,56	M	2,69)-mD
2,45	D	2,45	D	2,56	M
2,37	mD	2,34	D-mD	2,45	D
2,28	mD	2,23	mD	2,34	mD
2,23	mD	2,13	mD	2,23	mD
2,12	mD	1,99	D	2,18	mD
1,98	D	1,81	M	1,99)
1,81	M	1,69	banda	1,81	M-D
1,70	banda	1,64	D-M	1,69	banda
1,65	D-M	1,54	D	1,65)-M
1,54	D	1,50	M	1,54)
1,50	M				

T A B L A 20

	A _p		B		B/Ca	
	d (Å)	I	d (Å)	I	d (Å)	I
Agregados orientados	13,86	D	13,49	D	13,49	D-M
	10,15	M	10,26	M	10,04	M
	7,13	F-mF	7,13	mF	7,13	F
Agregados orientados solvatados con glicerol	18,39	D	18,39	D-M	18,39	D
	10,04	D-M	9,98	D-M	10,04	D-M
	7,13	F-mF	7,13	F	7,13	F

Perfil VI

Los diagramas de polvo (tabla 21) presentan difracción sobre 14 Å, apenas perceptible en los horizontes superficiales y algo más pronunciada en los profundos, que puede ser atribuida a montmorillonita, vermiculita, clorita e interestratificados; difracción a 10,04 Å, débil y constante en todos los horizontes, que unida a las registradas a 4,98 Å, 4,48 Å, 2,99 Å, 2,56 Å, 1,50 Å y a la banda 1,64 - 1,70 Å, demuestra la presencia uniforme de illita en el perfil; difracción a 7,13 Å, más intensa que las anteriores, aunque disminuye con la profundidad, que junto con las presentes a 3,56 Å, 2,56 Å, 2,36 Å, 2,12 Å, 1,54 Å y otras, caracterizan la caolinita; y difracciones a 4,26 Å, 3,34 Å y 1,81 Å, que indican la presencia de cuarzo.

Los diagramas de agregados orientados y saturados en Mg^{++} (tabla 22) presentan muy acentuadas las difracciones a 14 Å, 10 Å y 7,13 Å. En ellos puede apreciarse de forma clara el aumento o disminución de la intensidad de dichas difracciones en los distintos horizontes del perfil.

La difracción a 14 Å se desplaza hacia espaciados más altos (18 - 19 Å) cuando las muestras se solvatan con glicerol. Esto demuestra la presencia de un mineral hinchable que en las condiciones de saturación en Mg en que se encuentra es montmorillonita.

En resumen, existe una diferencia en la composición mineralógica de las arcillas de este perfil entre los horizontes superficiales y los profundos. En los horizontes Ap_1 , Ap_2g y Bg predominan caolinita e illita, habiendo una pequeña proporción de montmorillonita; en el horizonte II $B_{21}g$ están equilibradas las proporciones de estos tres minerales, y ya a partir del horizonte II $B_{22}g$ hasta el III C, la montmorillonita es el mineral dominante, que se encuentra acompañada de illita y caolinita en cantidades parecidas. En las arcillas de todos los horizontes existe cuarzo como mineral accesorio, en mayor proporción en los horizontes superficiales.

Ap ₁		Ap ₂ g		B		IIB ₂₁ g		IIB ₂₂ g		IIB ₃ gCa		III C	
d (A)	I	d (A)	I	d (A)	I	d (A)	I	d (A)	I	d (A)	I	d (A)	I
13,59	mD	14,24	mD	13,59	mD	13,80	mD	14,71	mD	14,62	D	14,72	banda
10,04	D	13,18	mD	10,04	D	10,04	D	10,04	D	10,04	D-mD	13,38	D-M
7,13	M-D	10,04	D-M	7,16	M	7,13	D-M	7,08	D-M	7,13	D	10,04	D
4,98	D	7,08	M	4,98	D	4,98	D	5,00	D	5,00	D	7,13	M-D
4,48	F	4,95	D	4,46	F	4,46	F-mF	4,45	mF	4,45	mF	5,00	D
4,26	M	4,45	mF	4,26	M-F	4,26	F	4,25	M	4,26	F	4,45	mF
4,13	D	4,25	M-F	4,15	M	4,16	M	4,13	M-D	4,17	M-D	4,26	M-F
3,86	mD	4,15	D-M	3,89	D	3,81	D	3,82	D	3,86	D	4,15	M-D
3,75	D	3,87	D	3,74	D	3,73	mD	3,53	M	3,73	D	3,93	mD
3,59	M-D	3,74	D	3,51	M-D	3,58	M	3,35	F-M	3,56	D-M	3,51	D-M
3,52	M-D	3,53	D-M	3,35	mF	3,51	M	3,22	D-mD	3,35	F-M	3,35	F
3,35	mF	3,35	mF	3,20	D	3,35	F-M	2,98	mD	3,21	D	3,18	D
3,21	D	3,19	D	2,99	mD	3,15	mD	2,87	mD	2,99	mD	3,11	mD
2,99	D-mD	2,99	D	2,87	mD	2,99	mD	2,56	M	2,85	mD	2,90	D
2,67	mD	2,56	M-F	2,67	mD	2,67	mD	2,45	D	2,56	M-F	2,56	M-F
2,56	M	2,45	D	2,56	M	2,56	M	2,38	D	2,44	D-M	2,46	D
2,45	D	2,28	mD	2,45	D-M	2,45	D-M	2,34	mD	2,37	D	2,38	D
2,38	D-mD	2,24	mD	2,36	D	2,38	D	2,23	D-mD	2,34	mD	2,26	mD
2,24	mD	2,13	mD	2,28	mD	2,23	mD	2,13	mD	2,24	mD	1,97	D
2,12	mD	1,98	D	2,23	mD	1,99	D	1,99	D	2,20	mD	1,81	D-mD
1,98	D	1,81	D	2,13	mD	1,81	D	1,82	mD	1,98	D	1,70	banda
1,81	D	1,70	banda	1,98	D	1,70	banda	1,70	banda	1,81	D	1,64	débil
1,69	banda	1,64	D-M	1,81	D	1,64	D-M	1,64	débil	1,70	banda	1,54	D-mD
1,65	D-M	1,54	D	1,70	banda	1,54	D	1,54	D-mD	1,55	débil	1,50	D-M
1,54	D	1,50	M	1,64	D-M	1,50	M	1,50	M-D	1,54	D		
1,50	M-D			1,54	D					1,50	M		
				1,50	M								

TABLA 22

Ap ₁		Ap _{2g}		B		IIB _{21g}		IIB _{22g}		IIB _{3gCa}		III C	
d (Å)	I	d (Å)	I	d (Å)	I	d (Å)	I	d (Å)	I	d (Å)	I	d (Å)	I
Agregados orientados													
16,05	banda	16,35	banda	15,72	banda	16,35	banda	14,96	F	14,47	F	14,47	mF
13,70	mD	13,59	mD	14,02	mD	14,72	débil	10,04	M	10,04	M	10,04	M
10,04	F	10,04	mF	10,04	F	10,04	M-F	7,13	M	7,13	M	7,13	M
7,13	F	7,13	mF	7,13	F	7,13	M-F						
Agregados orientados solvatados con glicerol													
18,78	banda	19,62	banda	18,78	banda	19,62	banda	18,39	F	19,19	T-mF	18,39	mF
16,66	mD	16,66	mD	16,88	débil	16,66	débil	10,04	M-F	10,04	F-M	10,04	F
10,04	mF	10,04	F	10,04	mF	10,04	F	7,13	M	7,13	M	7,13	M-F
7,13	mF-F	7,13	F	7,13	F	7,13	M-F						

Perfil VII

Los diagramas de polvo (tabla 23) muestran una difracción débil sobre los 14 Å, a partir del horizonte II Bg₂₁, que puede ser atribuída a montmorillonita, clorita, vermiculita e interestratificado. En los diagramas correspondientes a los agregados orientados y saturados en Mg⁺⁺ se puede observar que la difracción a 14 Å aparece en todos los horizontes, aumentando en intensidad con la profundidad hasta alcanzar la máxima en el horizonte IICCa. Cuando las muestras se solvatan con glicerol, la difracción aumenta a 18 Å, demostrándose así que corresponde a un mineral montmorillonítico hinchable.

En los diagramas de polvo se observan difracciones a 10 Å, que no aparecen en todas las muestras, por lo que hay que acudir a los agregados orientados. Esta difracción unida a las de 5,00 Å, 4,47 Å, 2,98 Å, 2,38 Å, y otras indica la presencia de illita en las arcillas de todos los horizontes.

Una difracción a 7,13 Å con intensidad más fuerte en los horizontes superficiales que en profundidad aparece en todas las muestras. La diferente intensidad se confirma en los agregados orientados (tabla 24), en la que la muestra correspondiente al horizonte Ap₂ se observa más acentuada. Asimismo pueden apreciarse difracciones a 3,57 Å, 2,35 Å, 2,28 Å,

2,12 Å, 1,54 Å, que unidas a la de 7,13 Å indican la presencia de caolinita. Por último, las difracciones a 4,25 Å, 3,34 Å, 2,45 Å, 1,81 Å y 1,54 Å, demuestran la existencia de cuarzo que se encuentra en proporción grande en los horizontes Ap.

Resumiendo, se puede afirmar que la caolinita y el cuarzo son los minerales que dominan en los horizontes superficiales (Ap₁ Ap₂ y B) y la montmorillonita en los horizontes más profundos, siendo el contenido en illita uniforme a lo largo de todo el perfil.

T A B L A 23

Ap ₁		Ap ₂		B		IIBg ₂₁	
d (Λ)	I	d (Λ)	I	d (Λ)	I	d (Λ)	I
14,02	mD	10,04	D	9,93	D-mD	14,97	banda
10,15	D	7,13	M	7,13	M	13,80	dóbil
7,13	M	4,95	mD	4,98	mD	10,15	D-mD
4,98	D	4,48	F	4,46	F	7,13	M
4,46	F	4,26	F	4,25	M-F	4,98	mD
4,25	F	3,88	mD	3,88	mD	4,44	F
3,83	mD	3,67	mD	3,73	D	4,25	M
3,70	D	3,57	M	3,59	M	3,72	mD
3,57	D-M	3,52	M	3,53	M	3,54	M
3,52	M	3,34	mF	3,34	mF-F	3,46	D-M
3,34	mF	3,24	D	3,25	D-mD	3,34	F
3,25	D-mD	2,99	D	3,08	D-mD	3,23	D
2,99	D-mD	2,87	mD-D	2,99	D	3,10	D
2,89	M-F	2,78	mD	2,89	mD	2,99	D
2,56	M-F	2,56	M-F	2,56	M-F	2,56	M
2,49	mD	2,49	mD	2,49	D	2,49	D-mD
2,45	M-D	2,45	M-D	2,45	mD	2,46	D
2,38	D	2,37	D	2,37	D	2,38	D
2,35	D	2,34	D	2,33	mD	2,35	D
2,28	D	2,28	D	2,28	D	2,28	D
2,24	D	2,23	D	2,19	mD	2,23	mD
2,19	D	2,18	D-mD	2,13	mD	2,13	mD
2,12	M-D	2,13	D-M	1,98	D	2,00	D
2,00	D	2,00	D	1,81	D	1,98	D
1,97	D	1,97	D-M	1,67	banda	1,82	D-mD
1,81	M	1,81	M	1,65	media	1,67	banda
1,67	banda	1,67	banda	1,54	D	1,61	media
1,65	media	1,65	media	1,50	M	1,54	D
1,54	M	1,54	D-M			1,50	M
1,50	M	1,50	M				

T A B L A 23 (continuación)

IIBg ₂₂		IICCa		III B		+ 2 n	
d (A)	I	d (A)	I	d (A)	I	d (A)	I
14,71	mD	15,72	banda	15,72	banda	15,49	banda
10,04	mD	13,18	media	13,18	débil	14,24	débil
7,13	D	10,04	D-mD	10,04	mD	10,04	D
5,01	D-mD	7,19	D	7,13	M-D	7,19	M-D
4,46	mF-F	4,98	D-mD	5,12	mD	5,01	D
4,25	M-F	4,46	F	4,44	F	4,49	F
3,56	mD	4,26	M-F	4,26	M-F	4,26	M
3,50	D	3,50	D-M	3,50	D-M	3,86	D-mD
3,34	F	3,34	F	3,34	F	3,75	D-mD
3,21	D	3,20	D	3,20	mD	3,52	M-D
3,11	D-mD	2,97	mD	2,98	D-mD	3,34	F
2,99	D	2,88	mD	2,84	mD	3,21	D-mD
2,88	mD	2,56	M-F	2,76	mD	3,13	mD
2,77	mD	2,45	D-mD	2,56	M-F	2,86	mD
2,56	M-F	2,38	mD	2,45	D	2,78	mD
2,48	mD	2,28	D	2,37	D	2,56	M-F
2,45	mD	2,23	mD	2,35	D-mD	2,45	mD
2,27	D	2,12	mD	2,27	mD	2,38	D
2,13	D-mD	1,98	D	2,13	D	2,28	mD
1,97	D	1,88	mD	1,99	D	2,24	mD
1,82	D	1,81	D	1,88	mD	2,13	D
1,70	banda	1,70	banda	1,81	D	2,00	banda
1,65	media	1,66	media	1,70	banda	1,98	D-M
1,54	D	1,54	D	1,66	media	1,89	D-mD
1,50	M	1,50	M	1,54	D	1,82	D
				1,50	M	1,68	banda
						1,65	media
						1,54	D-mD
						1,50	M

TABLA 24

	IIB _{22g}		IICCa		III B		+ 2 m	
	d (Å)	I	d (Å)	I	d (Å)	I	d (Å)	I
Agregados orientados	14,47	mF	14,97	mF	14,72	mF	14,24	mF
	10,04	M	10,04	M	10,04	M	10,04	M
	7,13	M	7,13	M-D	7,13	M-D	7,13	M-D
Agregados orientados solvatados con glicerol	18,39	mF	18,39	mF	18,73	mF	18,78	F
	10,04	M	10,04	M	10,04	M	10,04	M
	7,13	M	7,13	M-D	7,13	M-D	7,13	M-D

TABLA 24 (continuación)

	Δp_1		Δp_2		β		IIB_{21}^g	
	d (Å)	I	d (Å)	I	d (Å)	I	d (Å)	I
Agregados orientados	14,72	banda	14,72	banda	16,05	banda	15,49	mF
	14,02	mD	14,72	mD	14,72	L-M	14,04	M
	10,04	M	10,04	F	10,04	M	7,13	M-F
	7,13	F	7,13	mF	7,13	F		
Agregados orientados solvatados con glicerol	19,62	banda	20,06	banda	20,06	banda	18,39	F
	17,66	mD	16,98	mD	16,98	débil	10,04	M
	10,04	M	10,04	M	10,04	M	7,13	M
	7,13	M-F	7,13	M-F	7,13	M-F		

Perfil VIII

En los diagramas de polvo (tabla 25) puede apreciarse una difracción muy débil a 14 Å que pasa a ser de intensidad media en el horizonte g₂Ca; puede ser atribuida en principio a montmorillonita, clorita, vermiculita e interestratificados. Una difracción a 10 Å débil está presente en todos los horizontes, que unidas a las que aparecen a 5,00 Å, 4,44 Å, 2,98 Å, 2,56 Å y otras, así como la banda de 1,64 - 1,70 Å, indica la presencia de illita. La difracción a 7,13 Å, de intensidad media, puede ser atribuida a caolinita, metahallosita, etc. Las difracciones a 1,50 Å (media y 1,54 Å (débil), son características de minerales dioctaédricos, la primera y de minerales trioctaédricos y cuarzo, la segunda. Esta última y las de 4,24 Å, 3,34 Å, 1,81 Å y otras demuestran la existencia de cuarzo. Otras difracciones aparecen entre 5,90 Å y 6,60 Å y pueden ser atribuidas a oxalatos que se hayan formado durante el proceso de extracción del hierro.

En los diagramas de agregados orientados (tabla 26), previa saturación en Mg⁺⁺, aparece una banda amplia sobre los 14 Å cuya intensidad aumenta en el último horizonte (g₂Ca); una difracción a 10 Å constante a lo largo del perfil y otra muy bien definida a 7,13 Å que disminuye al aumentar la profundidad.

Al solvatar con glicerol, la banda a 14 Å pasa a 18 Å, lo que demuestra que se trata de un mineral hinchable, que en las condiciones de saturación en Mg^{++} no puede ser sino montmorillonita.

La persistencia al ataque ácido de la difracción a 7,13 Å, y la presencia en los diagramas de polvo, de otras, a 3,56 Å, 2,56 Å, 2,37 Å, 1,97 Å, 1,87 Å, 1,54 Å, etc. demuestra la existencia de caolinita.

Resumiendo, se puede afirmar que la caolinita predomina en los horizontes superficiales para descender un poco su intensidad en profundidad; la illita es aproximadamente constante en el perfil, llegando a dominar, con la caolinita, en los horizontes g_{21} y g_{22} . La montmorillonita aumenta al descender en el perfil hasta ser el mineral más abundante en el horizonte más profundo. Como mineral accesorio existe cuarzo, cuya proporción es grande en los horizontes superficiales y pequeña en los profundos.

Ap		ξ_1		ξ_{21}		ξ_{22}		ξ_{2Ca}	
d (Å)	I	d (Å)	I	d (Å)	I	d (Å)	I	d (Å)	I
14,97	mD	14,48	mD	14,24	mD	16,05	banda	13,80	M
10,04	D-M	10,04	D-M	10,39	banda	13,80	mD	10,04	D-M
7,13	M	7,13	M	9,93	D-M	10,04	D	7,13	M
5,82	mD	6,41	D	7,13	M	7,08	M	5,90	D
4,98	D-nD	4,98	nD	5,90	mD	5,90	nD	4,98	D
4,44	F	4,46	F	4,98	mD	5,01	nD	4,44	mF
4,23	M-F	4,25	F	4,44	mF-F	4,44	mF	4,25	M
3,83	nD	3,86	D	4,24	D	4,23	D	4,13	D
3,54	M	3,74	D	3,53	M	3,53	M-F	3,70	nD
3,49	M	3,56	M-D	3,49	M	3,38	nD	3,57	M
3,34	mF	3,50	M-D	3,34	F-M	3,34	F-M	3,49	M
3,18	nD	3,34	mF	3,17	D	3,17	D	3,34	F-M
2,99	nD	3,18	nD	2,98	D	2,98	D	3,18	mD
2,56	M	2,99	D	2,86	mD	2,84	mD	2,98	D
2,48	nD	2,56	M-F	2,56	F	2,56	F	2,86	nD-D
2,45	D	2,49	nD	2,46	mD	2,38	D	2,73	mD-D
2,35	D	2,45	M-D	2,37	M-D	2,35	D	2,56	F
2,27	D	2,38	D	2,34	D	2,28	mD	2,45	mD
2,23	mD	2,34	D	2,28	D	2,24	mD	2,38	D
2,12	D	2,28	D-M	2,23	D-mD	2,12	D	2,33	mD
2,06	mD	2,24	D	2,18	D-mD	2,04	mD	2,24	mD
1,98	D-M	2,13	D-M	2,13	D	1,98	D-M	2,14	D-mD
1,89	nD	1,98	D	1,98	D	1,88	D	1,98	D
1,81	D	1,85	mD	1,89	D	1,84	D	1,89	D
1,68	banda	1,82	M-D	1,68	banda	1,70	banda	1,68	banda
1,65	media	1,67	M	1,66	media	1,66	media	1,64	media
1,54	D	1,54	M-D	1,54	D	1,54	D	1,54	D
1,49	M	1,50	M	1,49	M	1,49	M	1,49	M

TABLA 26

	Δ_p		g_1		g_{21}		g_{22}		g_{2Ca}	
	d (Å)	I	d (Å)	I	d (Å)	I	d (Å)	I	d (Å)	I
Agregados orientados	14,24	D-M	14,02	M	16,66	banda	14,97	banda	15,22	mF
	10,04	D-M	10,04	F	14,24	media	13,59	M-F	10,04	F
	7,13	F	7,13	mF	10,04	F-M	10,04	M	7,13	F
					7,13	F	7,13	M		
Agregados orientados solvatados con glicerol	19,62	banda	20,06	banda	19,62	banda	19,62	banda	18,39	F
	17,31	débil	17,66	débil	17,66	débil	16,98	débil	10,04	M
	10,04	M	10,04	M-F	10,04	M	10,04	M	7,13	M
	7,13	M	7,13	F	7,13	M-F	7,13	M		

Perfil IX

Los diagramas de polvo (tabla 27) presentan una primera difracción sobre los 14 Å que en principio puede ser atribuida a montmorillonita, vermiculita, clorita e interestratificados. Esta misma difracción se acentúa de forma notable en los correspondientes a los agregados orientados (tabla 28), siendo muy superior a las restantes, por lo que haya que pensar en el predominio de los minerales de 14 Å en la arcilla de este suelo. Si se solvatan las muestras en glicerol previa saturación en Mg^{++} se observa el desplazamiento de esta difracción hacia espaciados más altos (18,5 - 19 Å), demostrándose la presencia de montmorillonita. En los diagramas correspondientes a agregados orientados calentados a unos 500° C, se observa la persistencia de una pequeña difracción a 13,80 Å que es atribuible a una pequeña proporción de clorita.

Los diagramas de polvo presentan una difracción muy débil a 10 Å que aumenta de intensidad en los de agregados orientados. Estas difracciones a 10 Å, unidas a las que se registran a 4,97 Å, 4,44 Å, 3,18 Å, 2,86 Å, 2,56 Å y a la banda a 1,64 - 1,70 Å, conduce a pensar en la presencia de illita.

Sobre los 7 Å, presentan todos los horizontos una difracción atribuible a caolinita o a un segundo orden de los minerales de 14 Å. Se ha realizado un ataque ácido en las arcillas y en sus diagra-

mas correspondientes se aprecia la persistencia de la difracción a 7 Å, por lo cual hay que atribuirle a caolinita. La presencia de este mineral se confirma por las difracciones a 3,52 Å, 3,14 Å, 2,56 Å, 2,38 Å, 2,28 Å, 2,13 Å y 1,54 Å, entre otras.

Finalmente, se presentan difracciones a 4,26 Å, 3,34 Å, 1,81 Å y 1,54 Å características del cuarzo.

En resumen, se puede afirmar el gran predominio de montmorillonita en la composición mineralógica de las arcillas del perfil. También se encuentran, aunque en cantidades menores, illita y caolinita, así como una pequeña proporción de clorita. Como mineral accesorio existe cuarzo.

T A B L A 27

A _p		A _p (B)		(B) ₁		(B) ₂		C	
a (A)	I	a (A)	I	a (A)	I	a (A)	I	a (A)	I
14,72	D	13,59	D	14,87	D-M	14,63	D-M	14,72	M
10,15	D	10,04	nD	10,04	D	10,15	nD	10,15	nD
7,13	mD	7,13	D	7,08	D	7,13	D	7,13	L
4,97	D	4,97	D	4,98	D	4,97	D	4,97	L
4,44	F	4,46	F	4,44	F	4,44	F	4,44	F
4,23	M-F	4,25	M-F	4,25	M-F	4,23	M-F	4,23	M-F
3,70	nD	3,72	nD	3,70	nD	3,69	nD	3,70	nD
3,52	D	3,54	D	3,53	D	3,52	D	3,52	L
3,34	nF	3,34	nF	3,34	nF	3,34	nF	3,34	nF
3,18	nD	3,21	nD	3,19	nD	3,18	D	3,18	L
3,15	nD	3,14	D	3,15	nD	3,15	nD	3,13	nD
2,86	D	2,82	nD	2,86	D	2,86	nD	2,86	nD
2,55	M-F	2,56	M-F	2,56	M-F	2,56	M-F	2,56	M-F
2,45	M	2,45	D	2,45	D	2,44	D-M	2,44	D-F
2,37	D	2,39	nD	2,37	nD	2,38	D	2,38	D
2,28	D	2,28	D	2,28	D	2,27	D	2,27	D
2,23	D	2,21	D	2,24	D	2,23	D	2,24	D
2,12	D	2,13	D-M	2,13	D	2,12	D	2,13	D
1,97	D	1,98	D	1,99	D	1,97	D	1,97	D
1,81	D	1,81	M	1,81	D-M	1,81	D-M	1,81	D-M
1,66	banda	1,65	banda	1,65	banda	1,63	banda	1,65	banda
1,67	media	1,69	media	1,70	media	1,70	media	1,69	media
1,54	D	1,54	D	1,54	D	1,54	D	1,54	D
1,50	M	1,50	M	1,50	M	1,50	M	1,50	M

T A B L A 28

	A _p		A _p (B)		(B) ₁		(B) ₂		C	
	d (Å)	I	d (Å)	I	d (Å)	I	d (Å)	I	d (Å)	I
Agregados orientados	15,22	F	15,22	F	14,97	F	14,72	F	14,72	F-nF
	10,04	D-M	10,04	D	10,04	M	10,04	M	10,04	M
	7,13	D	7,13	D	7,13	D	7,13	D	7,13	D
Agregados orientados solvatados con glicerol	19,62	F	19,62	F	19,62	F	20,06	F	20,06	F
	10,04	M	10,04	M-D	10,04	M	10,04	M	10,04	M
	7,13	D	7,13	D	7,13	D	7,13	D	7,13	D

III.6.4 Análisis térmico diferencial

En la tabla 29 se recogen los registros de los efectos endo y exotérmicos correspondientes a las arcillas de los diferentes suelos estudiados.

Perfil I

Los diagramas de ATD correspondientes a este perfil presentan un primer efecto endotérmico a 120°C que aumenta en intensidad con la profundidad. Este efecto se debe a la pérdida de agua de hidratación e indica la presencia de un mineral hinchable, montmorillonita según los diagramas de difracción de rayos X. Un segundo endotérmico a $565\text{--}570^{\circ}\text{C}$ corresponde por su forma a illita y montmorillonita, así como el presente a $860\text{--}865^{\circ}\text{C}$. En el horizonte $(B)_2$ aparece un endotérmico sobre los 300°C que probablemente sea debido a gibsita. Por último hay que destacar los exotérmicos a 340°C , atribuibles a geles de hierro, y a 925°C , debido al calor de recristalización.

Perfil II

Los horizontes de este suelo ofrecen unos diagramas de ATD muy parecidos a los del anterior. Sin embargo, cabe resaltar la aparición en los horizontes A_p y A/C de un endotérmico a 300°C , probablemente de gibsita, y otro a 375°C atribuible a goetita.

Perfil III

Como puede apreciarse en la tabla correspondiente, los diagramas de ATD de las muestras de este perfil presentan una gran similitud a las del anterior. La única diferencia apreciable es una mayor abundancia de illita en detrimento de caolinita como indica la intensidad del endotérmico a 155° C.

Perfil IV

Las curvas de ATD correspondientes a este perfil muestran un primer efecto endotérmico sobre los 150° C atribuible a montmorillonita o a illita alterada. Este pico aumenta en intensidad hasta alcanzar los horizontes calizos donde la montmorillonita es el mineral dominante de acuerdo con los diagramas de rayos X. Un segundo endotérmico se presenta sobre los 570° C, pudiendo ser atribuido a montmorillonita, illita y caolinita. Por su forma e intensidad en los dos primeros horizontes debe pensarse principalmente en caolinita; a partir del horizonte B₂Ca₁₁, el pico se hace más abierto y asimétrico propio de illita más o menos alterada y sobre todo de montmorillonita, cuya presencia está reafirmada por el endotérmico a 760° C.

Sobre los 360 - 380° C aparece el primer exotérmico atribuible a goles de hidróxidos de hierro. Por último, el efecto exotérmico a 960° C corresponde

al calor de recristalización de los minerales de la arcilla.

Perfil V

Los diagramas que presentan las arcillas de este suelo dan un predominio de caolinita. Así lo indica la gran simetría y agudeza del efecto endotérmico a 580° C y su mayor intensidad respecto al de 150° C. Se registran exotérmicos a $375 - 380^{\circ}$ C, atribuible a geles de hidróxidos de hierro, y a 960° C que por su configuración es propio de caolinita.

Perfil VI

Los diagramas de ATD pertenecientes a las arcillas de este perfil presentan un primer efecto endotérmico a $110 - 130^{\circ}$ C que indica la existencia de minerales con cierta capacidad de hidratación como son la montmorillonita e illita alterada. Un segundo efecto endotérmico aparece a $550 - 565^{\circ}$ C y puede ser atribuido a caolinita, montmorillonita o illita, aunque por la forma del pico, agudo y sinétrico en su parte baja y abierto en su parte superior, parece indicar mezclas de illita y caolinita. Los horizontes más profundos registran un endotérmico a 730° C característico de montmorillonita. El endotérmico a 320° C puede ser atribuido a goetita y por último el exotérmico a $355 - 375^{\circ}$ C, más intenso, a geles de hidróxidos de hierro.

Perfil VII

En este perfil existe una marcada diferencia entre los registros de ATD de los horizontes superficiales y profundos.

En los horizontes Ap_1 , Ap_2 y B, cabe destacar la pequeña intensidad del endotérmico a 110° C que hace pensar en agua de hidratación debida a illita o incluso a caolinita. A 300° C y a 350° C aparecen dos nuevos picos endotérmicos que pueden ser atribuidos a gibsita, el primero y a goetita, el segundo. El endotérmico a 560° C es muy intenso, agudo y simétrico por lo que hay que atribuirlo a caolinita, mineral que predomina en estos horizontes superficiales. Finalmente se registra el exotérmico a $910-920^\circ$ C.

A partir del horizonte IIB_{21g} , el efecto endotérmico a 110° C aumenta considerablemente hasta hacerse mayor al correspondiente a los 560° C. Esto indica que con la profundidad aumenta la proporción de montmorillonita hasta hacerse dominante. Desaparecen los endotérmicos a 300° C y 350° C y aparece un exotérmico a $340-350^\circ$ C atribuible a geles de hidróxidos de hierro.

Perfil VIII

En este suelo existe, al igual que en el anterior, una pequeña diferencia entre los horizon-

tes superficiales y los profundos. En los tres primeros parece dominar la caolinita como indica la mayor intensidad del endotérmico a 570° C sobre el correspondiente a 120° C. En estos horizontes aparece un efecto exotérmico a 340 - 345° C atribuibles a geles de hierro que no se encuentra en profundidad; por el contrario, en los horizontes inferiores se registran dos efectos endotérmicos a 300° C y 350° C que probablemente son debidos a gibsita y goetita respectivamente. Al contrario que en superficie, en la base del perfil el pico a 120° C es más intenso que el de 570° C como corresponde a un predominio de montmorillonita.

Perfil IX

En este perfil, el mayor efecto endotérmico se registra en todos los horizontes a 120° C lo que parece indicar un predominio de montmorillonita en todo el suelo. A continuación, puede apreciarse un doble pico endotérmico a 530° C, el primero y a 560° C, el segundo que son atribuibles a illita y montmorillonita principalmente, aunque también haya que tener en cuenta la caolinita debido sobre todo a la agudeza del efecto exotérmico a 900° C. Por último, se presenta igualmente en este perfil un exotérmico a 335 - 345° C debido a geles de hidróxidos de hierro.

T A B L A 29

Análisis térmico diferencial

Perfil	Horiz.	Efectos endot.			Efectos exot.			
I	Ap	120		565	870	340	925	
	(B) ₁	120		570	870	340	925	
	(B) ₂	115	300	565	855	340	900	
	C	115		570	870	345	925	
II	Ap	120	300	375	565	860	340	900
	AC	115	300	375	560	855	340	900
	IICCa	115	300		565	860	345	910
	IIC	120			565	865	335	910
III	Ap	160	570				370	960
	ApB	150	570				370	950
	BCa ₁	155	570	720			380	955
	BCa ₂	155	570	750			375	960
	BCCa	155	575	755			375	955

.....//.....

Perfil I

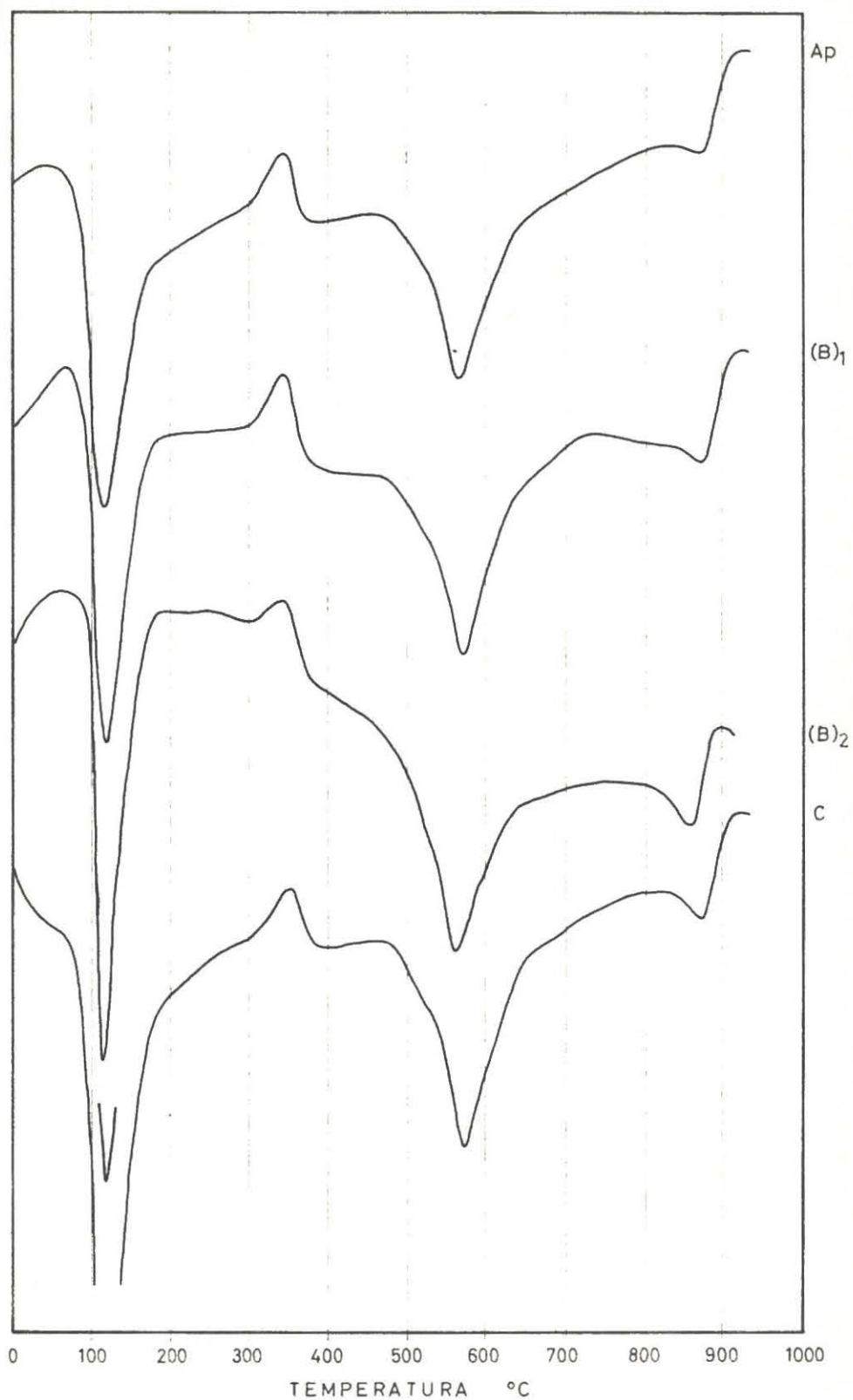


Fig. 9 Curva de A.T.D. de la fracción arcilla.

Perfil II

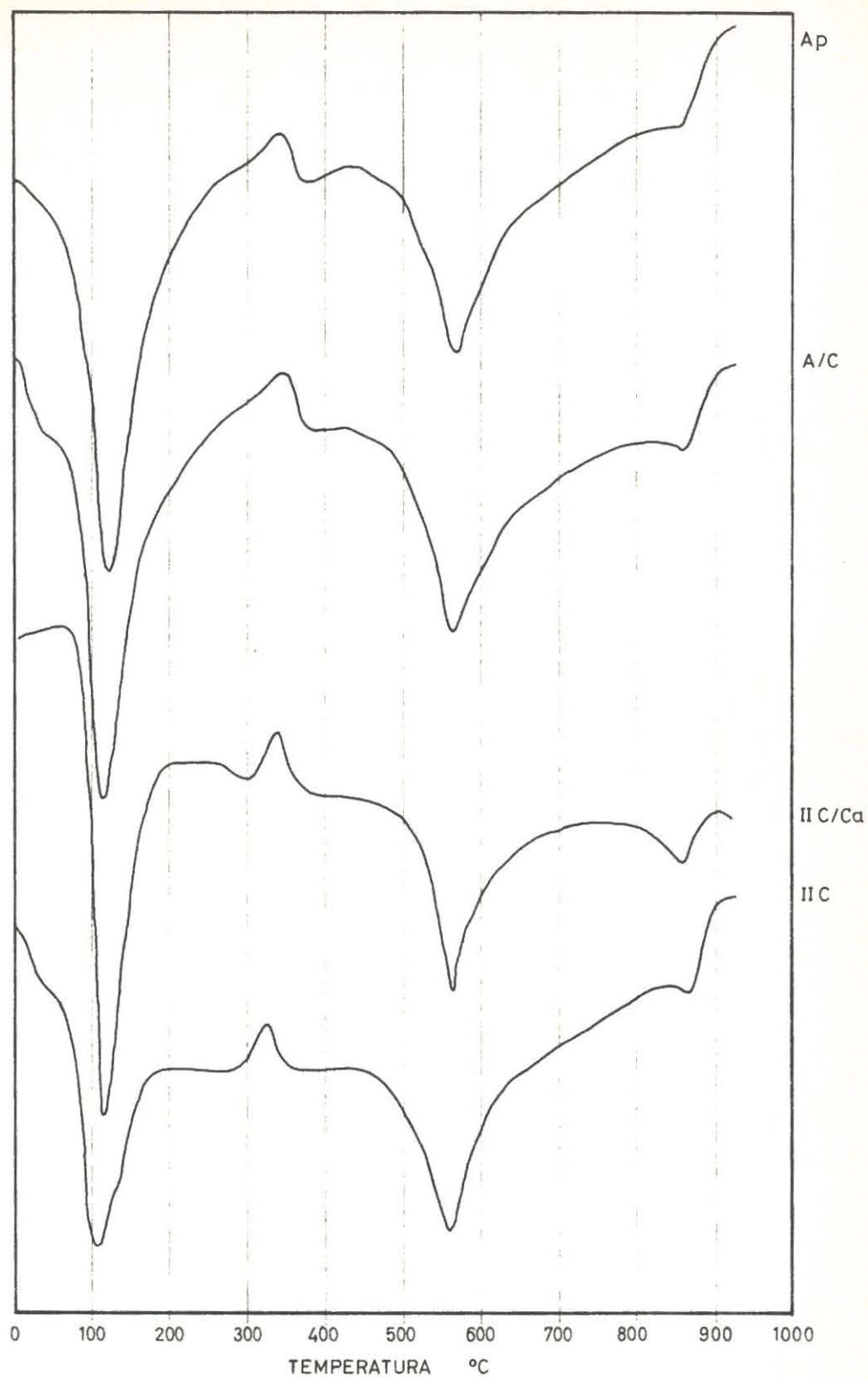


Fig. 10 Curvas de A.T.D. de la fracción arcilla.

Perfil III

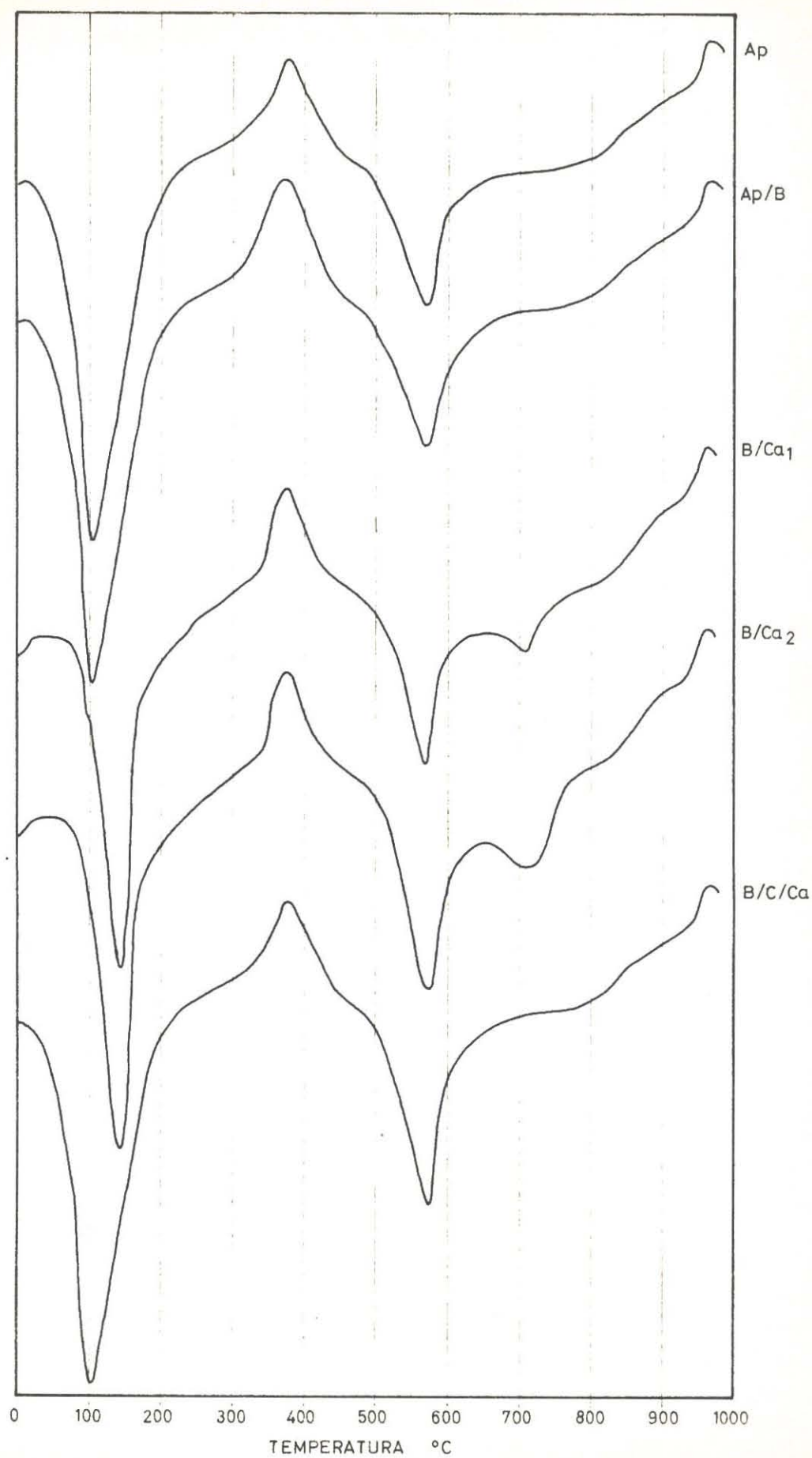


Fig. 11. Curvas de A.T.D. de la fracción arcilla.

.....//.....

T A B L A 29 (continuación)

Perfil	Horiz.	Efectos endot.			Efectos exot.	
IV	Ap	150	580			360 960
	B ₂	150	580			350 960
	B ₂ Ca ₁₁	150	575	760		385 960
	B ₂ Ca ₁₂	155	570	745		380 960
	B ₂ Ca ₂	160	570	770		370 965
	B ₃ Ca ₃	165	570	760		360 960
V	Ap	150	580			380 960
	B	150	585			375 960
	BCa	150	580			375 950
VI	Ap ₁	120	315	560	730	360 900
	Ap _{2g}	125	310	570		380 910
	B _{1g}	115	315	560	730	360 910
	IIB _{21g}	120	315	565		365 910
	IIB _{22g}	120	310	565	730	365 910
	IIB _{3g} /Ca	120	310	560		355 910
	III C	125	320	570		355 910

.....//.....

Perfil IV

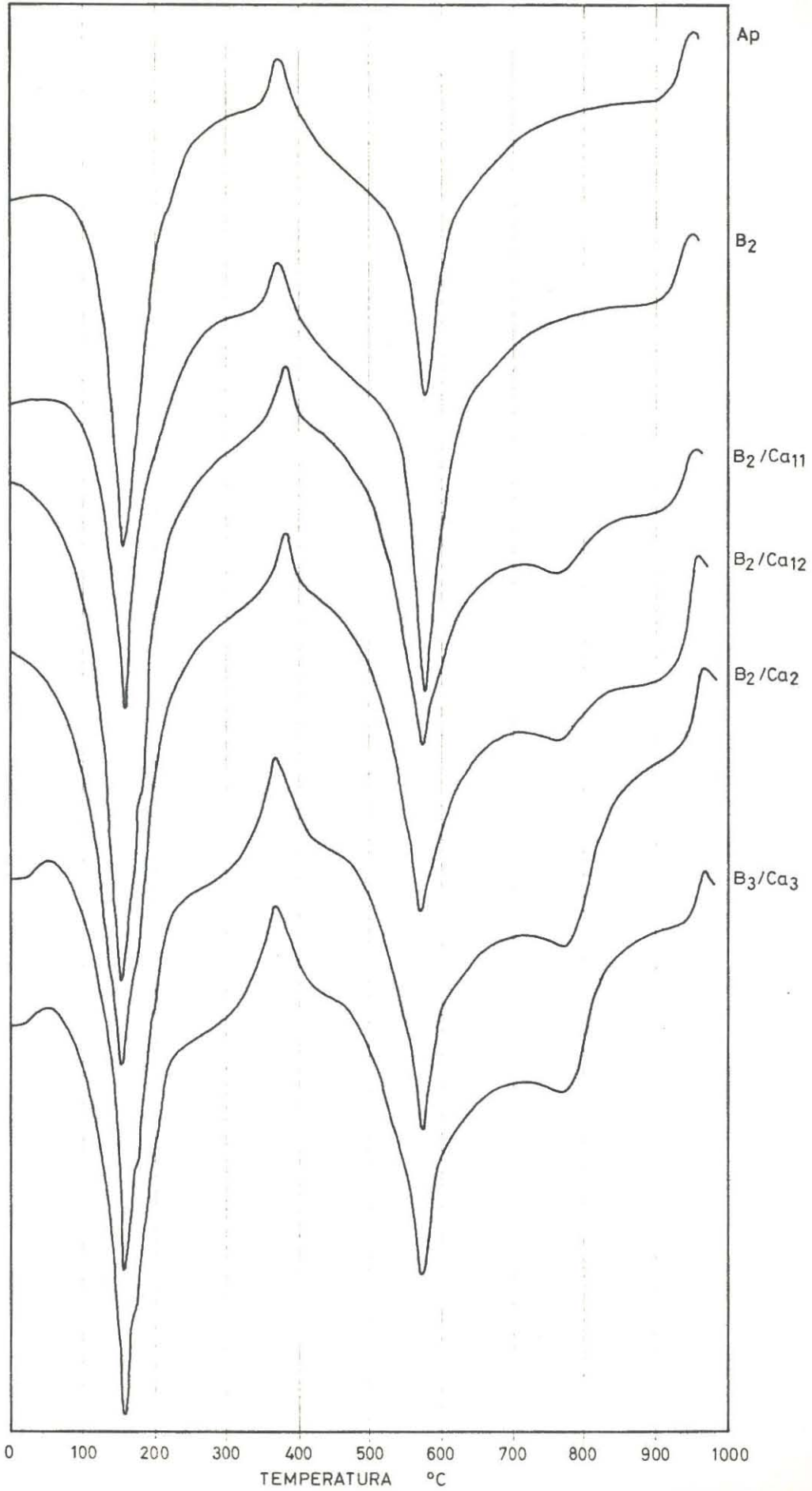


Fig. 12. Curvas de A.T.D. de la fracción arcilla.

Perfil V

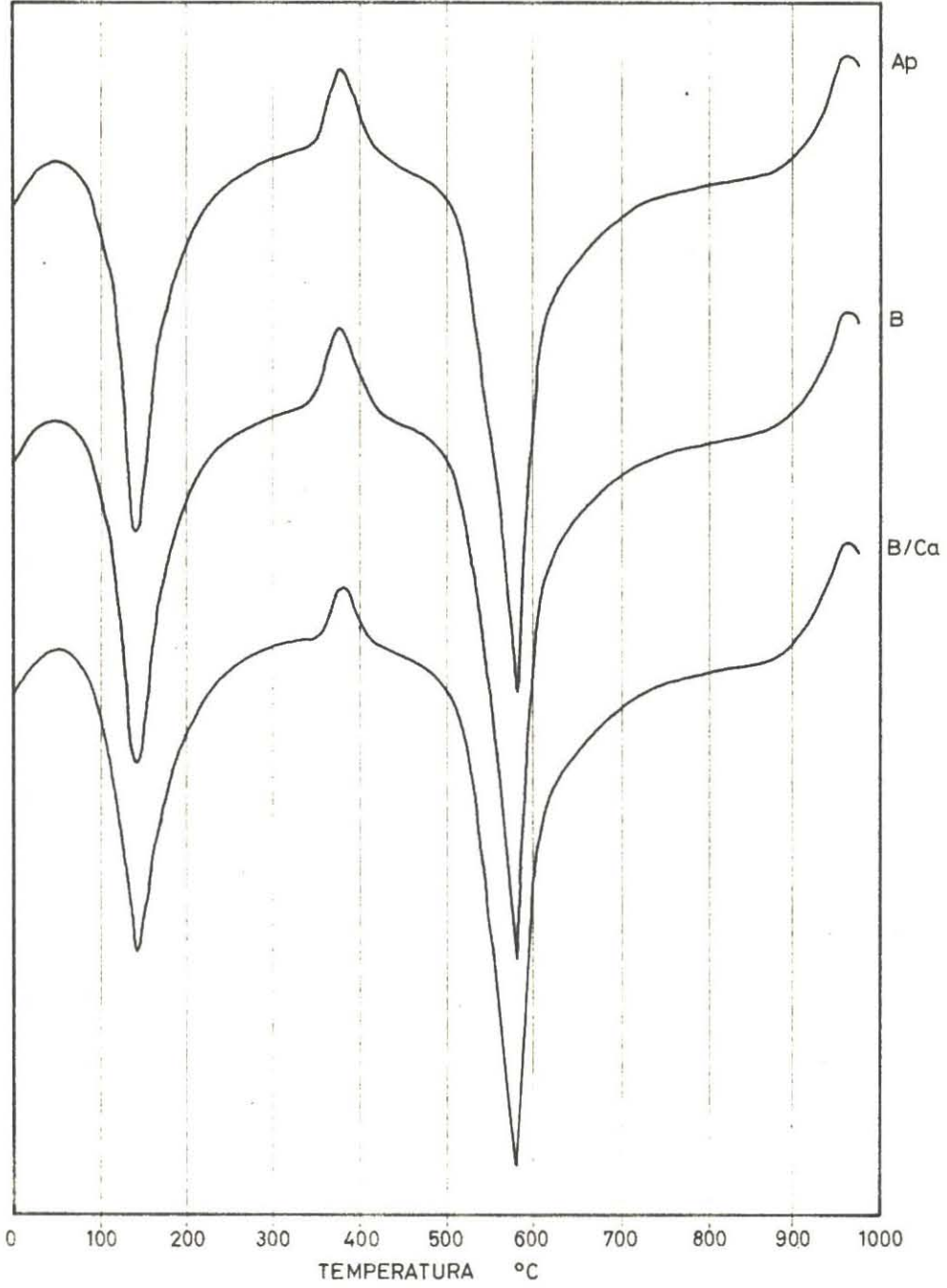


Fig. 13. Curvas de A.T.D. de la fracción arcilla.

Perfil VI

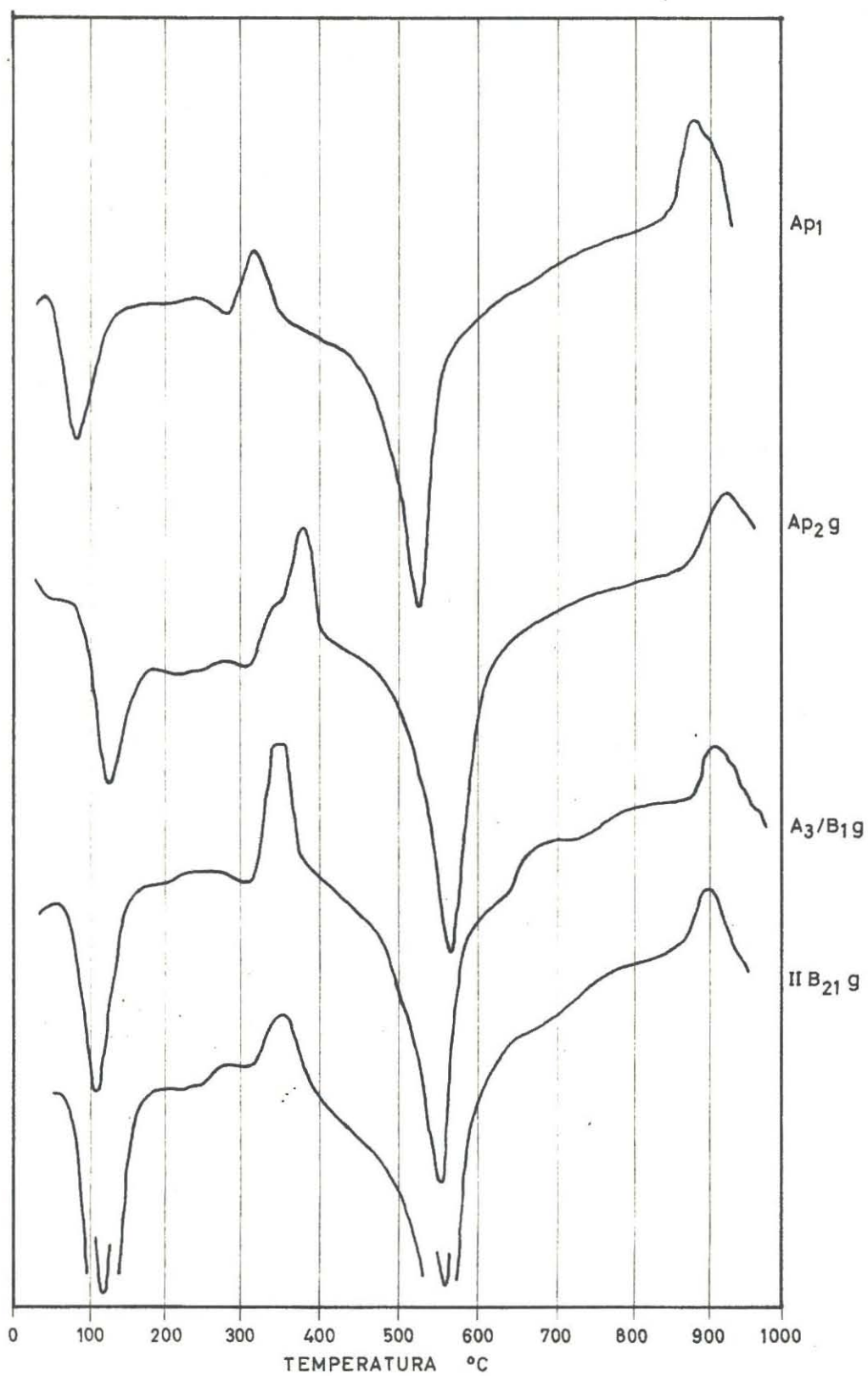


Fig. 14. Curvas de A.T.D. de la fracción arcilla.

Perfil VI (continuación)

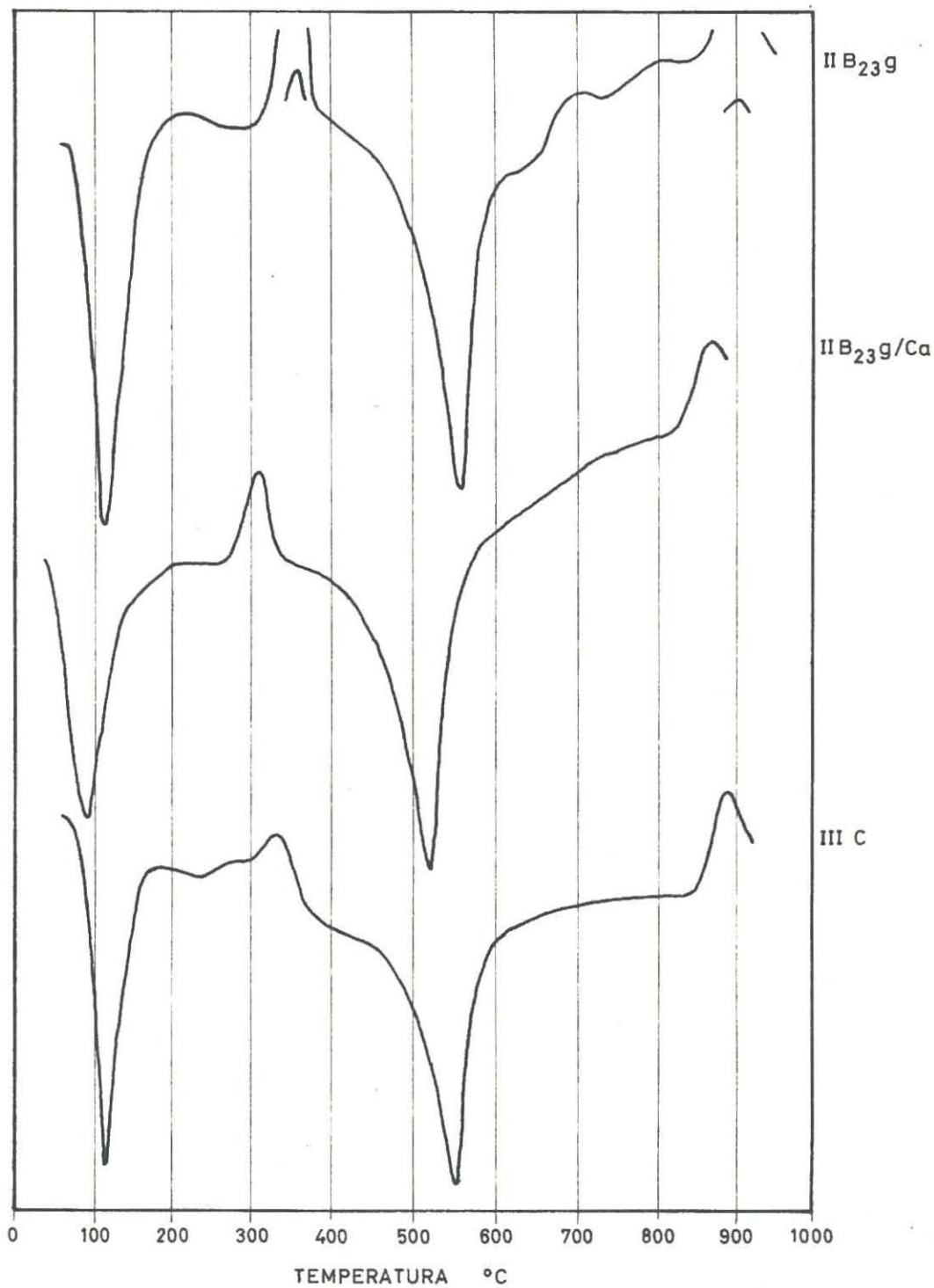


Fig. 14. (continuación) Curvas de A.T.D. de la fracción arcilla.

.....//.....

T A B L A 29 (continuación)

Perfil	Horiz.	Efectos endot.				Efectos exot.	
VII	Ap ₁	110	300	350	560		915
	Ap ₂	110	300	350	560		920
	B	110	300	350	560		915
	IIB _{21g}	110			555	330	910
	IIB _{22g}	115			560	340	910
	IICCa	115			565	350	910
	IIIC	110			560	340	910
	+ 2 n	115			560	340	900
VIII	Ap	120	565			345	925
	g ₁	120	570			340	930
	g ₂₁	115	570	295	340		925
	g ₂₂	120	575	300	350		930
	g _{2Ca}	120	570		355	340	920

..... //

Perfil VII

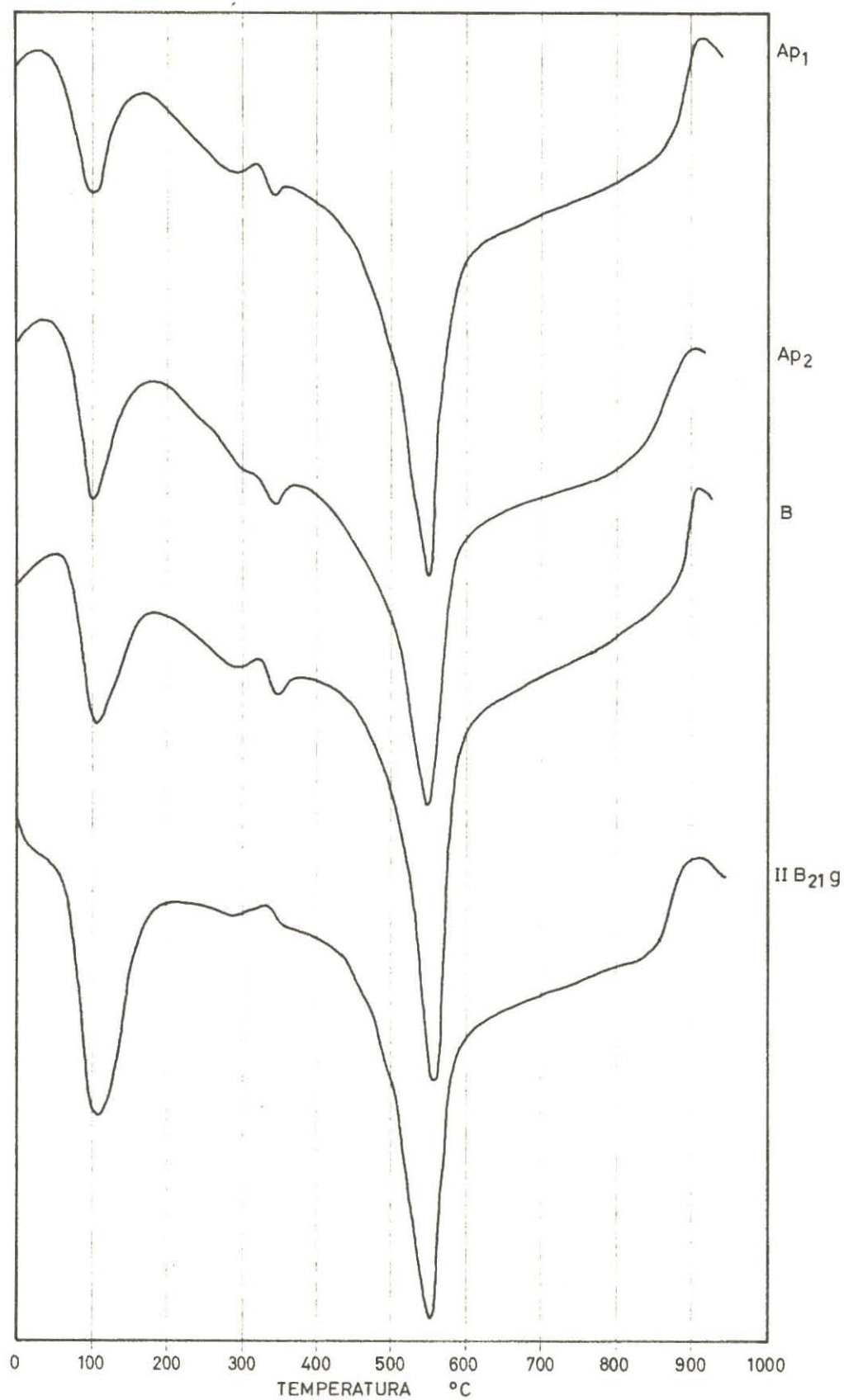


Fig. 15. Curvas de A.T.D. de la fracción arcilla.

Perfil VII (continuación)

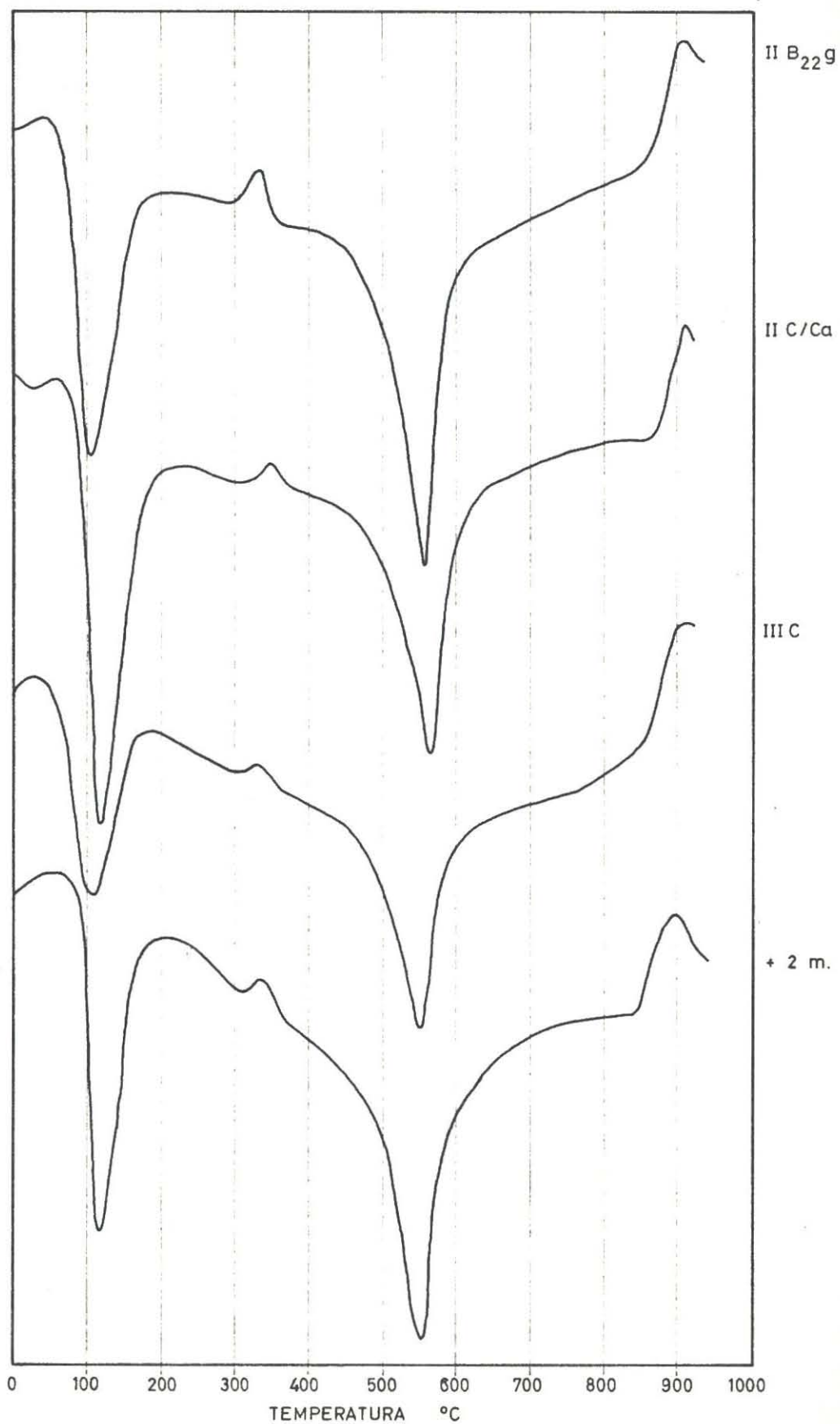


Fig. 15 (continuación) Curvas de A.T.D. de la fracción arcilla.

Perfil. VIII

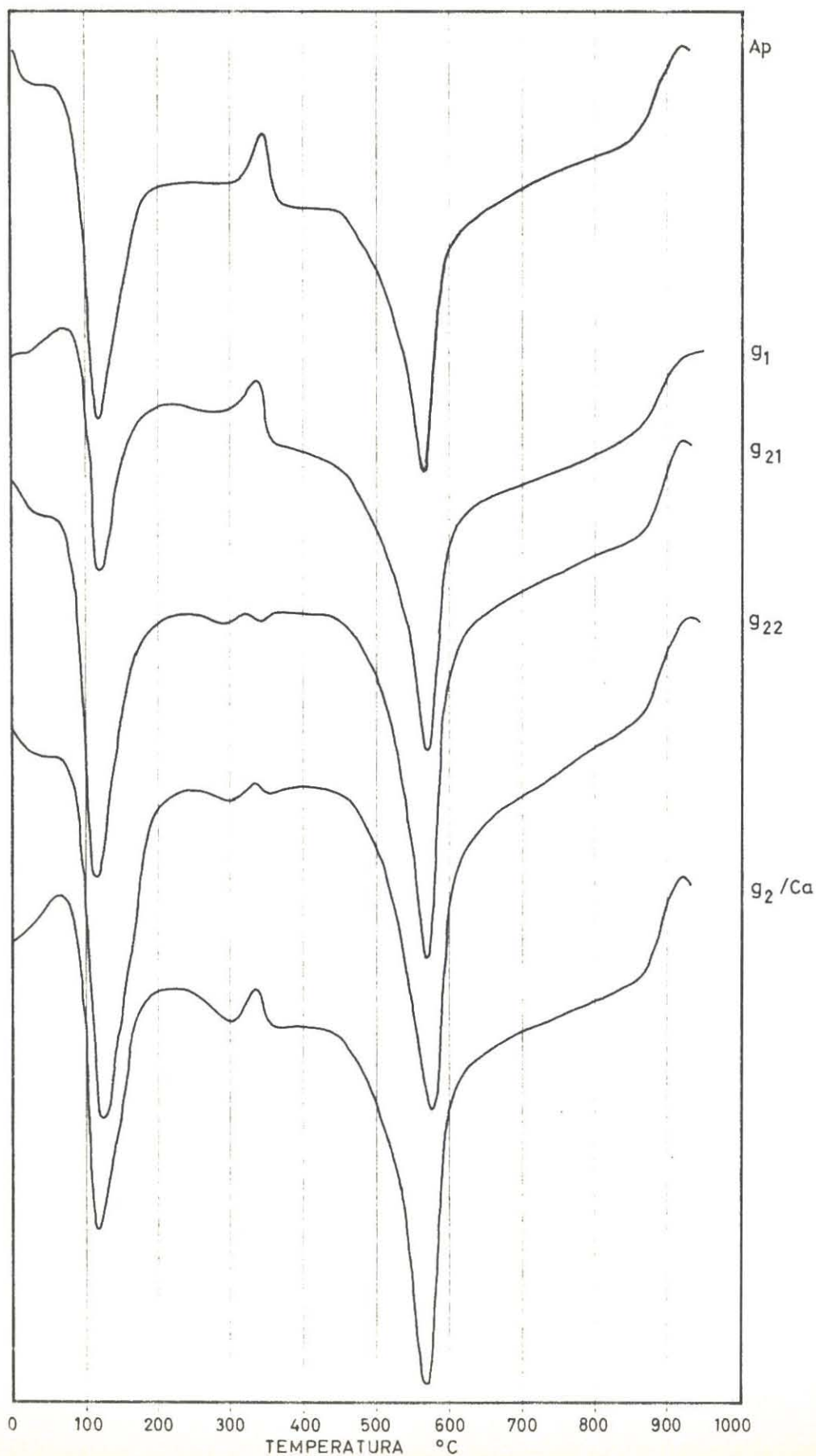


Fig. 16 Curvas de ATD de la fracción arcilla.

.....//.....

T A B L A 29 (continuación)

Perfil	Horiz.		Efectos endot.			Efectos exot.	
IX	Ap	120	530	560	860	345	900
	ApB	120	535	560	855	350	895
	(B) ₁	120	535	560	855	350	900
	(B) ₂	120	535	560	870	345	895
	C	120	540	560	855	350	900

Perfil IX

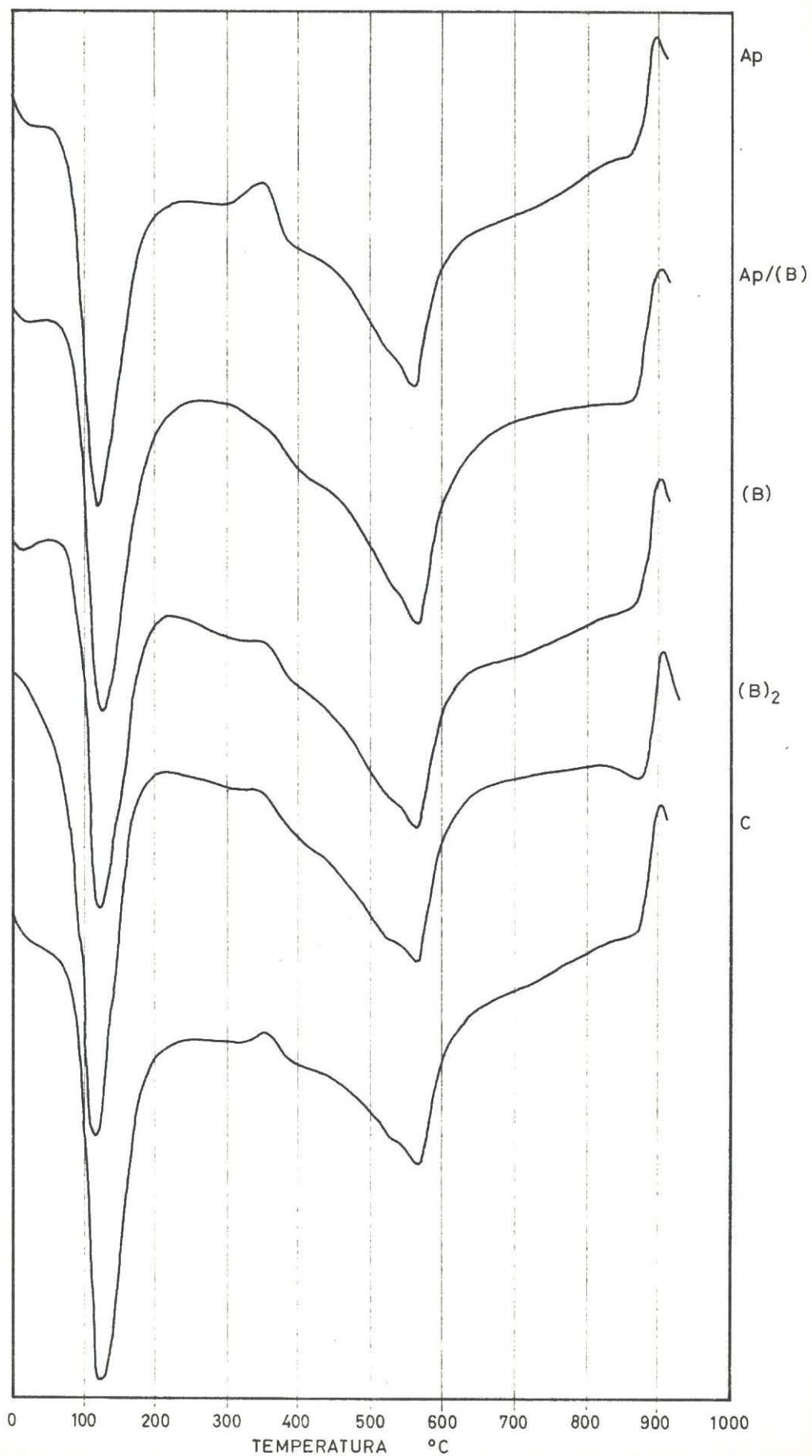


Fig. 17. Curvas de A.T.D. de la fracción arcilla.

IV. DISCUSSION

En el capítulo anterior se ha expuesto y comentado un conjunto de datos químicos, granulométricos y mineralógicos de perfiles representativos de las principales formaciones edáficas sobre sedimentos de terrazas de la margen izquierda del Guadalquivir, en la zona comprendida entre los ríos Corbones y Guadaira.

Una interpretación correcta de la génesis y evolución de estos suelos requiere considerar los factores ecológicos que condicionan su desarrollo. En los suelos de terrazas los materiales originales son sedimentos fluviales del Guadalquivir depositados por el río durante el Cuaternario, en fases principales de sedimentación y otras que podrían considerarse secundarias, después de fenómenos de erosión, transporte y sedimentación dentro de la zona estudiada.

Estos procesos determinan la geomorfología actual y se reflejan a veces en las características morfológicas de los perfiles (Bellinfante, N.; Paneque, G. y Clemente, L., 1970).

Es evidente que la génesis y evolución de los suelos de terrazas no pueden desligarse de los procesos geológicos cuaternarios que intervienen en la formación de las mismas. Como es bien sabido, se admite la existencia de cuatro períodos glaciares, que los autores alemanes han llamado Gunz, Mindel, Riss y Würm, en orden de mayor a menor antigüedad. Consecuencia de los cambios climáticos es la variación eustática del nivel del mar, con la consiguiente formación de terrazas.

Rutten et al. (1963) encuentran en un estudio edafo-geomorfológico del Bajo Ródano cuatro niveles de terrazas correspondientes a las distintas glaciaciones cuaternarias. Algunas consideraciones de este trabajo son de aplicación al valle bajo del Guadalquivir, debido a su semejanza geomorfológica con el Ródano (Terán, 1952). Existe, sin embargo, una diferencia fundamental, y es que el Guadalquivir no ha sufrido directamente la influencia de las glaciaciones. Por ello, los niveles de terraza del río andaluz pueden estudiarse mejor en relación a los correspondientes a los ríos norteafricanos, en los que tampoco llegaron a producirse glaciaciones. En diversos trabajos sobre

el Cuaternario de autores franceses se correlacionan estos periodos glaciarios con los correspondientes pluviales (Raynal y Tricart, 1963; Rutten et al., 1963; Vaudour, 1969).

La vegetación y el clima son factores activos de la edafogénesis (Duchaufour, 1970). La vegetación juega un papel esencial por la materia orgánica que incorpora al suelo, que puede ser de propiedades muy diferentes. Sin embargo, conviene tener presente que los suelos de terrazas del Guadalquivir son eminentemente agrícolas, dedicados a cultivos que aportan escasos restos vegetales, por lo que los contenidos en materia orgánica son bajos. La vegetación potencial corresponde al dominio climático del Olco-Cerantonion, subdominio Asparageto Rhamnetum cistotosum con escasos Olea europeae y matorral de Cystus monspeliensis L., Cystus ladaniferus L., y Myrtus communis L.. Hay que tener en cuenta un subdominio climático, situado en los suelos de vega, que ocupa zonas de gran interés agrícola (Rivas et al., 1962).

El segundo factor activo en la evolución del suelo es el clima. Dentro de la región mediterránea, quizás sea la irregularidad la característica principal del clima, sobre todo en lo que concierne a las precipitaciones. En la zona de estudio, aunque la precipitación media es de 559 mm anual referido a un periodo de 25 años, si se estudian los datos correspon-

dientes a la década 1961-70, se observa que algunos años (1963 y 1969) se alcanzan e incluso se superan los 1.000 mm, mientras que en 1967 tan solo se registran 421 mm. La temperatura es mucho más regular de un año a otro, oscilando la máxima media entre 14º C (enero) y 39º C (agosto), y entre 5º C y 20º C la mínima media en el mismo periodo. Los datos estudiados han permitido clasificar el clima como seco-subhúmedo, según la clasificación de Thornthwaite (Carbajal y Martín Aranda, 1962).

Desde la vega del Guadalquivir, con suelos aluviales jóvenes, hasta la terraza superior, con suelos hidromorfos y rojos pedregosos, se han estudiado diferentes perfiles que representan las principales formaciones edáficas de los distintos niveles de terrazas.

Próximo al nivel más bajo de terrazas del Guadalquivir, se extiende un área donde se sitúan suelos jóvenes, poco evolucionados, denominados "vega" por Kubiena (1953). Estos suelos, formados sobre aluviones recientes, pueden considerarse como azonales, según la clasificación de Baldwin et al. (1938).

En el estudio de campo realizado en este área, que ocupa parte de los términos de Sevilla, La Rinconada, Brenes y Carmona, cabe distinguir dos zonas de acuerdo con el grado de desarrollo de los suelos. La primera está representada por el perfil I, aún hoy

bajo la influencia del régimen hidrológico del río, que en ocasiones determina grandes avenidas. Este perfil ofrece una gran uniformidad morfológica y en características físico-químicas.

La segunda zona se encuentra actualmente fuera de la influencia fluvial directa; es la parte más alta de la vega del Guadalquivir y pasa, mediante una zona de contacto, a la que puede considerarse primera terraza. En esta segunda zona se sitúa el perfil II, que representa un suelo joven (aluvial) sobre subsuelo semejante al que constituye el perfil III, el suelo pardo rojizo que caracteriza la terraza más baja del Guadalquivir y afluentes principales.

Los suelos de la vega baja están constituidos por sedimentos aluviales muy recientes; presentan perfiles poco diferenciados, en los que las variaciones que se observan en muchas de las propiedades se deben más a diferencias en los procesos de sedimentación que al desarrollo edáfico.

El perfil I es calizo en todos los horizontes y el pH es bastante uniforme, variando entre 7,6 y 7,9. Aunque existe cierta uniformidad en los valores de pH y en los contenidos en carbonatos, puede admitirse como indicio de diferenciación morfológica el ligero aumento de caliza que existe en profundidad. Esta suposición es difícil de confirmar, ya que las pequeñas diferencias encontradas pueden fácilmente

atribuirse a una sedimentación de materiales calizos. Así mismo, la variación del contenido en materia orgánica del horizonte (B)₂ al C parece indicar una sedimentación posterior al desarrollo de un suelo aluvial primitivo.

El contenido en arcilla descendiendo ligeramente con la profundidad y aumenta bruscamente en el horizonte inferior (horizonte C), pasando de 22,5 a 35,0%. Lógicamente, este aumento no puede explicarse por un proceso de lixiviado por lo que debe confirmarse la suposición de atribuir las diferencias analíticas encontradas en el perfil a discontinuidades debidas a distintas sedimentaciones.

Las diferencias granulométricas en el perfil se reflejan en los valores de la capacidad de cambio (T) y en los cationes cambiabiles. En efecto, los valores máximos se dan en el horizonte C, de mayor porcentaje de arcilla.

El análisis químico total del suelo refleja, así mismo, esta variación, como puede comprobarse en la tabla 4, en la que se aprecia con la profundidad una disminución progresiva en los contenidos de SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃ y TiO₂, para aumentar en el horizonte C, donde se alcanzan valores superiores a los correspondientes al horizonte Ap. Cabe, por tanto, afirmar una estrecha relación entre los porcentajes de la fracción fina del suelo y los contenidos en sesquióxidos.

De los contenidos en bases, destacan los valores de MgO, siendo este suelo el que presenta los porcentajes más altos (algo superiores al 3 %). El contenido elevado en MgO puede depender de una alta proporción de micas (biotita fundamentalmente) en el suelo. Concretamente, en la fracción arena fina, que representa más del 50 % de la composición granulométrica, se ha podido comprobar una proporción abundante de micas.

Los resultados del estudio de las formas del hierro están de acuerdo con el escaso desarrollo del suelo. Los distintos horizontes muestran un uniforme contenido en las tres formas estudiadas (total, libre y amorfo). Por otra parte, la razón Fe_2O_3 libre /total, con un valor de 40-41 %, es la más baja, si se exceptúan las correspondientes al perfil IX (tierra negra). Por el contrario, el suelo de vega (perfil I) presenta contenidos de Fe_2O_3 amorfo comparables a los de suelos de gran desarrollo, como es el rojo de terraza alta (perfil V).

Segalen (1969) y Lamouroux y Segalen (1969) atribuyen el color de los suelos rojos mediterráneos a una elevada proporción de Fe_2O_3 amorfo. Efectivamente este color aparece en los suelos de terrazas (perfiles IV y V). Sin embargo, el suelo de vega no presenta dicha coloración. El porcentaje de Fe_2O_3 considerado como amorfo, es en realidad hierro fácilmente

extraíble con el método de amorfos de Segalen (1968). El contenido relativamente alto de esta forma de hierro en el perfil I estaría de acuerdo con la presencia de una proporción importante de biotita más o menos alterada.

El análisis químico de la fracción arcilla de este perfil está, así mismo, de acuerdo con las consideraciones anteriores. En efecto, se encuentra un valor para la razón $\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3$ próximo a 3,0 y para $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$, de 3,6. Estas razones molares y los contenidos en MgO (los más elevados entre las arcillas estudiadas) y K_2O , convienen a minerales de la arcilla del tipo de micas e ilitas.

Los diagramas de difracción de rayos X y término diferencial confirman este extremo, así como la presencia de montmorillonita y algo de caolinita. Como mineral accesorio cabe destacar la presencia de cuarzo.

En resumen, el perfil I corresponde a un suelo de vega de textura limo-arcillo-arenosa, con una diferenciación morfológica poco acentuada, debido a su juventud y escaso desarrollo edáfico. El perfil es del tipo A (B) C.

El suelo, de naturaleza uniformemente caliza, empieza a sufrir los procesos de lavado, aunque de forma poco acentuada, según se desprende de la distribución de carbonatos en el perfil; de cualquier

manera, hay que tener presente cierta discontinuidad litológica debida a procesos de sedimentación, que se aprecia entre los horizontes (B)₂ y C.

La ausencia de fenómenos de hidromorfía, debido a la suficiente profundidad de la capa freática y a la existencia de un buen drenaje, permite al suelo evolucionar según la componente climática (Estéoule, 1964). El fácil drenaje acentuará el proceso de lixiviado, con la consiguiente descarbonatación de los horizontes superficiales. Haciendo intervenir el factor tiempo, esta evolución es la que muestran los perfiles II y III.

Este suelo debe clasificarse, según la sistemática francesa, dentro de la clase II de suelos poco evolucionados, subclase no climática, grupo de aporte aluvial y subgrupo nodal.

En la sistemática americana (7ª aproximación), este suelo correspondería al orden de los Entisoles, suborden fluvents, gran grupo de los xerofluvents y subgrupo Typic xerofluvents.

Como se ha indicado antes, más próxima a la primera terraza se extiende una zona de vega cuyos suelos presentan una clara diferenciación morfológica entre los horizontes superficiales y profundos. A esta zona pertenece el perfil II.

Como en el caso del perfil I, existe un aumento del contenido de materia orgánica en el ho-

rizonte más profundo, respecto a los inmediatamente superiores; así mismo aumenta la razón C/N, alcanzando en dicho horizonte el valor de 11,5, que, al mismo tiempo, es el más alto determinado en los distintos suelos de terrazas. Hay que pensar, igual que en el perfil I, en la posibilidad de que se trate de un horizonte enterrado.

Esta suposición encuentra fuerte apoyo en la distribución de carbonatos en el perfil. En efecto, los horizontes superficiales contienen, respectivamente, 6,0 % y 3,6 %, mientras que en los dos siguientes se pasa a más de 30 %; esta gran diferencia no puede explicarse satisfactoriamente mediante un proceso de lixiviado, teniendo presente la relativa juventud del suelo. Además, en estos horizontes profundos, de mayor contenido en carbonatos, existen concreciones calizas semejantes a las que se encuentran en el suelo pardo rojizo (perfil III). Por consiguiente, parece claro que el sedimento profundo (horizontes II C/Ca y II C) representa una discontinuidad litológica en el perfil II.

Así mismo, la composición granulométrica del perfil está de acuerdo con dicha discontinuidad. En efecto, el perfil II puede dividirse de manera clara en dos partes atendiendo a los contenidos en arena gruesa y arcilla. Concretamente, los dos horizontes superficiales ofrecen valores para estas fraccio-

nes de 15 - 17 % y 16 - 10 %, respectivamente, mientras que los dos horizontes más profundos presentan un contenido de arena gruesa comprendido entre 1,5 y 3,7 %, y entre 23,5 y 28,0 %, para la fracción arcilla.

El análisis químico total del suelo refleja el mayor contenido en carbonatos y arcilla en profundidad, según se aprecia en la tabla 4. Quizás los valores más significativos sean los de pérdida por calcinación, residuo total y bases. Los contenidos en sesquióxidos muestran cierta uniformidad en el perfil, pero si se tiene en cuenta la mayor proporción de carbonatos en profundidad, los valores correspondientes a estos horizontes en muestra descarbonatada serían mayores, de acuerdo con un más alto porcentaje de arcilla.

La distribución de hierro en el perfil es muy uniforme en lo que concierne a las formas total y libre. Por el contrario, los valores de Fe_2O_3 amorfo sufren un descenso brusco al pasar del horizonte A/C al II C/Ca (de 0,35 a 0,09 %, respectivamente). Esta variación se refleja de forma clara en la razón Fe_2O_3 amorfo/total, cuyos valores pasan de 18,5 - 17,8 en los dos horizontes superficiales, a 4,2 - 6,0 en los profundos. El descenso del contenido en Fe_2O_3 amorfo con la profundidad es general en todos los suelos (exceptuando los perfiles con pseudogleización); sin embargo, en otros perfiles este descenso es uniforme y no tan brusco como en el perfil II, por lo que, una

vez más, los datos analíticos apoyan la discontinuidad litológica ya mencionada.

Puede observarse en la tabla 9 que la fracción arcilla ofrece una composición química muy similar al de vega actual (perfil I), e incluso la misma uniformidad a lo largo del perfil. En efecto, según se desprende de la interpretación de los diagramas de difracción de rayos X y térmico diferencial, el mineral más abundante en las arcillas del perfil es illita, aunque en profundidad comparte este predominio con montmorillonita. Se encuentra, así mismo, algo de caolinita y abundante cuarzo como mineral accesorio.

Resumiendo, en el perfil II pueden distinguirse dos zonas bien diferenciadas morfológicamente. La parte superficial (horizontes Ap y A/C) está constituida por un sedimento aluvial de la misma naturaleza y textura que el que forma la vega reciente. La parte más profunda (horizontes II C/Ca y II C) contrasta de forma manifiesta con la superficial, no solo en las diferentes determinaciones analíticas, sino también en sus propiedades morfológicas, tal como la existencia de abundantes concreciones calizas que no pueden explicarse considerando la dinámica de un suelo de vega actual en la zona de estudio.

El estudio geomorfológico y los datos analíticos justifican admitir una erosión o decapitación de un suelo más antiguo (el pardo rojizo de

la terraza situada por encima) y en un posterior depósito sobre los horizontes Ca de dicho suelo, de un sedimento aluvial reciente, análogo al del perfil I.

En definitiva, se trata de un suelo poco evolucionado de aporte aluvial, sobre un sedimento más antiguo, que representa horizontes de acumulación de un suelo subactual. El perfil es complejo, del tipo Ap - A/C - II C/Ca - II C. Su clasificación corresponde con el de vega discutido anteriormente (perfil I), con la salvedad petrográfica y de profundidad correspondiente.

El perfil III representa a los suelos pardos rojizos que se extienden a lo largo de la terraza baja del Guadalquivir.

La formación de esta terraza pertenece cronológicamente al último periodo glacial del Cuaternario, esto es al Würm o a su equivalente pluvial Rharbiense. Así consideran Rutten et al. (1963) la primera terraza del río Orb en el bajo Languedoc. Bonnet y Bornand (1970), en el valle medio del Ródano, atribuyen a esta época el primer nivel del bajo Isère, formado por diversos aluvionamientos; de éstos, los más antiguos han sufrido ya una alteración rubificante, aunque poco intensa. De igual modo, para Vaudour (1969), el primer nivel de terraza pertenece al Würm y lo correlaciona con el Soltaniense del Cuaternario marroquí, lo mismo que hacen Beudet et al. (1967).

Según estos autores, al Rharbiense (primera terraza según Rutten) pertenecen los aluviones más actuales que no presentan síntomas de edafización.

Al introducir el pardo rojizo dentro de los suelos zonales se admite que su evolución es hacia el rojo mediterráneo; ésto significa considerar la rubefacción como un proceso edáfico actual. Sobre este problema de la rubefacción existen numerosos trabajos en la bibliografía. Según las zonas, unos autores apoyan la actualidad de este fenómeno y otros consideran que tuvo su gran influencia en épocas pasadas y que las condiciones actuales no solo no la favorecen, sino que incluso la impiden.

Federoff (1966) estudia los suelos rojos del límite norte de la cuenca mediterránea, concretamente del valle de la Duranco (Francia), llegando a la conclusión de que no se forman actualmente; hoy la evolución es hacia un empardecimiento. Vigneron et al. (1966) constatan que las fases climáticas frías, templadas o cálidas del Cuaternario reciente no han producido suelos rojos, todo lo más una rubefacción débil y poco profunda de los sedimentos del Riss superior o Würm inferior, cuando son poco calizos.

Por el contrario, Bottner y Los-saint (1967) y Bornand (1969) afirman que los fenómenos de rubefacción se han producido aún en el Würm; sin embargo, los sedimentos del Cuaternario reciente

(post-würm) parecen no estar rubificados. Lamouroux (1965, 1966) admite así mismo, la formación actual de los suelos rojos bajo clima húmedo y subhúmedo del Líbano. Otros autores como Monturiol et al. (1970) opinan que los procesos de argilización, descalcificación y rubefacción se muestran actualmente entorpecidos pero no impedidos, en el área mediterránea. Bottnar y Lossaint (1967) recogen varias observaciones de diferentes autores sobre la actualidad del proceso de la rubefacción. Entre ellas, Charles (1949) la pone de manifiesto sobre roca madre puesta al descubierto: gneiss, caliza molasa y otras; Mesching (1956), en la parte norte del Atlas medio con clima cálido y húmedo; Duchaufour (1965), en Portugal, sobre pendiente de esquistos expuestas al sur y desprovistas de vegetación; Klinge (1957), en los macizos montañosos del sureste de España, con clima cálido y húmedo. Finalmente, Boulainc (1961) opina que la rubefacción es actual pero discontinua en el tiempo, ya que los climas mediterráneos están caracterizados por grandes variaciones de un año a otro, no produciéndose más que los años más favorables. Estas consideraciones son exactas para la zona de terrazas estudiada, donde, como se ha expuesto con anterioridad, se dan años con una pluviosidad de 1.000 mm y otros en los que apenas se alcanzan los 500 mm de precipitación anual.

De acuerdo así mismo con las condiciones climáticas de esta zona, Lamouroux (1967) considera que uno de los factores esenciales en la rubefacción es la alternancia de una estación húmeda y fresca con otra seca, cálida y suficientemente larga, sin que las variaciones de intensidad que se hubieran producido después del Cuaternario medio, hayan afectado el sentido de esta evolución. Cabe pensar, pues, que las condiciones climáticas actuales sean adecuadas solo ciertos años, pero los años menos favorables no suponen un retroceso en dicha evolución.

En la descripción morfológica del perfil III puede apreciarse que presenta procesos de lavados, aunque no tan intensos como los de suelos rojos de terrazas más altas. Estos procesos pueden apreciarse ya en los datos de la tabla 3, donde se exponen los resultados del análisis mecánico. En efecto, existe un ligero aumento del contenido en arcilla de los horizontes profundos (27 - 30 %), respecto al de los superiores (23 - 24 %). El lixiviado se refleja de forma más clara en los valores de carbonatos recogidos en la tabla 1. Lógicamente son las sales las primeras en sufrir una redistribución en el perfil; puede verse que existe una clara diferencia entre los contenidos en carbonatos de los primeros horizontes (12 - 17 %) y los profundos (31 - 51 %). El perfil no está descarbonatado en superficie, como ocu-

rre en los suelos rojos de terrazas más altas. Según algunos autores, la total descarbonatación no parece ser condición previa a la rubefacción; para Bou-laine (1968), la rubefacción comienza cuando el suelo se empobrece en caliza, circunstancia en la que se encuentra el pardo rojizo de terraza (perfil III).

Siguiendo la tónica de los suelos rojos, que se discutirán más adelante, el pardo rojizo presenta un contenido igualmente bajo en materia orgánica, razón C/N menor de 10, reacción ligeramente básica y total saturación del complejo de cambio, fundamentalmente por cationes calcio. Estas circunstancias convienen a la formación de un humus de tipo mull cálcico.

El análisis químico total de los diferentes horizontes presenta una gran uniformidad en todo el perfil. Solo los porcentajes de CaO, lógicamente paralelos a los de carbonatos, son el único indicio claro del comienzo del proceso de lixiviado que ha dado lugar a la formación de horizontes B/Ca, pero no al B textural de los suelos rojos debido a la mayor juventud de este perfil. De todas formas su morfología no impide que el proceso de lavado continúe en la actualidad, favoreciendo su formación.

Para Duchaufour (1970), el hierro es el elemento, cuyo estado, en el suelo, ofrece mayor información sobre la edafogénesis. Se han realizado,

por ello, las determinaciones de hierro total, libre y amorfo, cuyos resultados se recogen en las tablas 6, 7 y 8, ya comentadas en el capítulo anterior. Puede apreciarse que los suelos considerados tienen un mayor porcentaje de las tres formas de Fe_2O_3 en los horizontes superiores que en los profundos, mientras que en los intrazonales es al contrario, y los azonales presentan una gran uniformidad. Por otro lado, las razones Fe_2O_3 libre/total y Fe_2O_3 amorfo/total disminuyen regularmente hacia la profundidad en el perfil, de forma más marcada en los rojos que en el pardo rojizo. Esta variación no es la misma en los demás suelos estudiados, lo que parece indicar una dinámica del hierro diferente como consecuencia de una evolución así mismo distinta. Dentro de estos suelos rojos y pardos rojizos existen ciertas diferencias que atañen al valor absoluto de las cifras, particularmente las referentes al Fe_2O_3 libre y a la razón Fe_2O_3 libre/total. En efecto, aún cuando la secuencia de distribución sigue un mismo ritmo en estos suelos, los valores son inferiores para el pardo rojizo, debido a una menor alteración de los minerales de acuerdo con su mayor juventud.

Todas estas consideraciones parecen demostrar que el suelo pardo rojizo sea un estado intermedio del desarrollo edáfico entre los suelos de vega y los rojos mediterráneos de las terrazas más altas y

cuya evolución tiende hacia estos últimos.

Según la sistemática francesa, el perfil III debe introducirse en la clase VI, isohúnicos, subclase de los suelos con complejo de cambio saturado (principalmente en Ca), que evolucionan bajo un pedoclima fresco durante las estaciones lluviosas. Dentro de esta subclase, pertenecen al grupo de suelos marrons, subgrupo marrons rubificados.

Este suelo es difícil de introducir en la sistemática americana, aunque por sus características debe corresponderse con el orden Mollisol, suborden ustoll y gran grupo haplustoll.

Si bien los suelos rojos no están exclusivamente ligados al clima mediterráneo actual, dada su gran frecuencia en la cuenca mediterránea, hay que pensar que dicho clima ha jugado o juega un papel importante en su génesis. Es evidente así mismo que sobre algunos suelos rojos presentes fuera de la zona de influencia mediterránea y formados en épocas más antiguas, se desarrolla en la actualidad una edafogénesis no rubificante. Numerosos autores sustentan que los climas mediterráneos actuales, caracterizados por una estación seca, favorecen la conservación de suelos rojos antiguos y puede, incluso, que prolonguen más o menos intensamente el proceso de la rubefacción. A este respecto, Beaudet y Ruellan (1966) opinan que a través del Cuaternario medio y reciente, los climas del norte de Marruecos se

han mantenido del tipo mediterráneo, simplemente más fríos y húmedos durante los pluviales y más secos en los interpluviales.

Según Rutten et al. (1963), los suelos rojos caracterizan las terrazas Gunz, Mindel y Riss del bajo Ródano, con mayor o menor intensidad según la superficie, no estando rubificado el nivel más bajo perteneciente al Würm. En Marruccos, Choubert et al. (1956) sitúan las fases más importantes de la rubefacción en el ciclo anirriense (Mindel), al que correspondería el perfil IV que es el suelo rojo más representativo dentro del conjunto de materiales edáficos de las terrazas del Guadalquivir, mientras que el soltaniense (Würm) está caracterizado por un coluvionamiento importante de material rubificado.

Análogas consideraciones podrían hacerse en relación con los suelos rojos de las terrazas del Guadalquivir, en donde se puede constatar que cuando las condiciones topográficas y microclimáticas son adecuadas la rubefacción es una característica constante de los suelos.

Según Vigneron et al. (1966) y Bottner y Lossaint (1967), los depósitos del Cuaternario antiguo están afectados por edafogénesis más acentuadas que la rubefacción, con fuertes hidrólisis y lavados que dan origen a horizontes superficiales con predominio silíceo. En España, Forteza et al. (1968) estudian un

perfil sobre la terraza antigua del Tajo que clasifican como rotlohm relicto con grava; afirman que es un suelo de formación interglaciar, aunque no llegan a ubicarlo en un periodo determinado. Sin duda alguna, la mayor intensidad de la alteración en las terrazas más altas permite diferenciar los suelos de aquellos otros de terrazas medias caracterizados por el proceso de rubefacción. A estos dos niveles corresponden, respectivamente, los perfiles V y IV estudiados. Los datos experimentales, comentados en el capítulo anterior, muestran cuando se comparan, marcadas diferencias que corresponden a condiciones distintas de génesis y evolución.

El suelo rojo con grava (perfil V), situado en la terraza superior del Guadalquivir, debió formarse durante el interpluvial que sigue al Saletense, equivalente a la glaciación Gunz, puesto que Rutten et al. (1963) y otros autores describen suelos similares en diferentes terrazas fluviales antiguas de la cuenca mediterránea. Esta primera sedimentación fluvial fué quizás la más torrencial y también la más extensa, debido principalmente a que el río no tendría aún formado su cauce. Como consecuencia, las aguas dejaron un amplio y potente manto de gravas, que se encuentran hoy en la base de casi todos los niveles.

Sobre los sedimentos de esta terraza alta del Guadalquivir, los suelos presentan una granulometría con predominio de materiales gruesos. Puede comprobarse

en la tabla 3, como en el perfil V, eliminada la grava, las fracciones arenas (fina y gruesa) significan más del 80 %. La pobreza en materiales finos (arcilla y limo) indica, al mismo tiempo, una gran intensidad de los procesos de lavado. Bornand (1969), en su trabajo sobre suelos rojos de la confluencia de los ríos Ródano e Isère, llega a la conclusión de que en los niveles más altos (Gunz y Villafranchiense) los procesos de lavado han tenido una mayor influencia que el fenómeno de la rubefacción. Este lavado tan acentuado se refleja en los análisis químicos comentados anteriormente y expuestos en la tabla 4; en ésta puede apreciarse que el perfil V es el suelo que presenta los valores más bajos de los diferentes elementos, mientras que el porcentaje de residuo total, compuesto prácticamente por cuarzo, es muy elevado. El suelo está descarbonatado por completo en los horizontes superiores, quedando en profundidad escasas concreciones calizas, testigos, quizás, de una costra de caliza travertínica, presente en el nivel medio de terrazas, que condicionó la evolución del suelo hacia el rojo mediterráneo. Este ambiente calizo en el que se ha desarrollado el suelo queda reflejado en su grado de saturación (100 ‰), donde el Ca^{++} supone más del 80 ‰ de los cationes de cambio.

El suelo, debido a su dedicación agrícola, es pobre en materia orgánica. El horizonte Ap , siendo

el más rico, apenas alcanza el 0,60 %, valor que desciende rápidamente con la profundidad. Los valores de carbono y nitrógeno sigue, lógicamente, una marcha paralela, indicando con ello una elevada velocidad de mineralización de la materia orgánica. Esto dá lugar a un horizonte superior bien humificado cuya razón C/N es inferior a 10, lo que conviene a un humus de tipo mull (Duchaufour, 1970).

Una característica morfológica importante en los suelos rojos es la existencia de un horizonte B de acumulación de arcilla, si bien, debido a la pobreza general en elementos finos que presenta el suelo, el porcentaje de arcilla es bajo; de todas formas puede observarse un aumento de dicha fracción en el horizonte B de este perfil V.

La baja proporción de materia orgánica y arcilla, consecuencia de la intensidad de los procesos edáficos correspondientes, se refleja en los valores de la capacidad de cambio, que son los más bajos entre los suelos estudiados (tabla 2). En general son inferiores a 5 m.e.q./100 g, sobrepasándose este valor en el horizonte B de acuerdo con su mayor contenido en arcilla.

En la tabla 9 se exponen los datos del análisis químico total de la fracción fina del perfil V, comentados en el capítulo anterior. Hay que

resaltar en los suelos rojos, tanto en este perfil como en el de terraza media (perfil IV), los valores elevados de pérdida por calcinación. Teniendo en cuenta que la fracción fina del suelo ha sido separada previa descarbonatación y destrucción de la materia orgánica, y los valores referidos a muestra seca a 105° C, hay que pensar que la pérdida por calcinación se debe principalmente al gausa de cristalización de los silicatos. Esto parece indicar un predominio de caolinita en las arcillas correspondientes, si se tiene en cuenta que dicho mineral es el que contiene mayor proporción de agua de cristalización (del orden de un 14 % según Hénin y Caillière, 1963). Al mismo tiempo la fracción arcilla presenta proporciones apreciables de sílice cuarcítica, recogida en la tabla 9 como residuo total, que puede tener origen en la alteración química pronunciada del suelo. Así mismo, de acuerdo con la intensidad de la alteración, existe un porcentaje alto de óxidos de hierro, en su mayor parte como forma libre.

Las razones $\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3$ y $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ (tabla 10) son las más bajas entre las calculadas para las arcillas de los diferentes suelos, del orden de 2,3 y 2,8, respectivamente. Estos valores convienen igualmente a una proporción relativamente alta de caolinita, cuyo predominio se confirma en los diagramas de difracción de rayos X y térmico diferencial.

En estos últimos se aprecia también una acusada proporción de cuarzo, que conviene a los valores altos encontrados para el residuo total.

Este predominio de minerales que constituyen el último estadio de alteración, tales como cuarzo y caolinita, está de acuerdo con una alteración de tipo tropical, como lo testifican Faraj y Schoen (1966) en el nivel superior de terrazas en Marruecos.

El suelo rojo sobre travertino (perfil IV), situado en la terraza media, presenta una evolución menos avanzada, a juzgar por los procesos de alteración y lavado.

Un accidente morfológico que caracteriza esta terraza es la existencia de una costra de caliza travertínica, sobre la que los sedimentos aluviales han evolucionado hacia el suelo rojo mediterráneo.

La formación de las costras calizas ha sido estudiada por numerosos autores en la cuenca mediterránea. Durand (1959) publica un trabajo sobre los suelos rojos y costras de Argelia, así como sobre las diferentes formas de acumulación caliza. Ruellan (1967) estudia las formas de individualización y acumulación de caliza en los suelos y depósitos cuaternarios en Marruecos y afirma que la caliza proviene de aportes oblicuos superficiales, por circulación difusa en el suelo y por capa freática.

Para Boulaino (1966), el horizonte K de acumulación caliza (Gile, et al. 1965), se ha formado en una fase preliminar de la evolución del suelo, siendo la rubefacción y descarbonatación del "solun" debidas a una evolución posterior. En España, Sánchez y Artés (1966) afirman que las costras no forman un horizonte calizo debido a la actividad del suelo actual suprayacente, sino que tuvieron su origen en fenómenos pedogenéticos, a menudo "in situ" o en un medio subacuático a expensas de compuestos de calcio y otros elementos liberados en la edafogénesis de otras zonas más altas, bajo pluviosidad y temperaturas superiores a las actuales.

Así mismo, otros autores como Gigout (1958, 1960) y Wilbert (1962) han descrito e interpretado las diversas formas de acumulación de caliza y han propuesto teorías sobre su génesis. Beaudet et al. (1967) recogen un resumen de estas diferentes teorías en dos hipótesis distintas:

- unos apelan a fenómenos de orden edafológicos: lavado vertical, ascensión capilar, individualización por efecto de la hidromorfía o por capa freática. Estos procesos tienen lugar en el interior del suelo.

- otros autores estiman por el contrario, que la mayoría de las acumulaciones calizas son de origen sedimentario o de depósitos lacustres.

Quizás el origen de la costra caliza de esta terraza del Guadalquivir esté de acuerdo con esta segunda hipótesis. En efecto, según se desprende de su morfología, parece tener un origen sedimentario de tipo lacustre. La datación de la costra se hace un poco difícil, aunque en la bibliografía existen trabajos sobre formaciones análogas que pueden tener una correspondencia cronológica con la que aquí se trata. Entre otros, pueden citarse a Rutten et al. (1963) que describen suelos sobre costras calizas pertenecientes a los periodos Mindel-Riss, en el valle del Ródano. Vaudour (1969) las describe así mismo en el valle del Jarama como pertenecientes al Mindel. Gallardo y Vaudour (1969) encuentran en el río Henares suelos rojos mediterráneos con horizonte Ca de tipo costra zonal en la terraza alta.

Estos y otros trabajos similares permiten suponer la formación de los suelos rojos sobre costra de la terraza media del Guadalquivir (perfil IV) durante el interglaciar Mindel-Riss. En la actualidad, el sedimento calizo no es continuo en toda la terraza sino que ha quedado en forma de islotes sobre los que siempre aparece un suelo rojo del tipo del perfil IV. En las zonas donde, debido a la erosión, no existe costra, los depósitos aluviales han evolucionado hacia un suelo pardo lavado hidromorfo, como consecuencia de una textura fina que impide el drenaje.

El análisis mecánico de los horizontes B/Ca del suelo rojo, una vez eliminados los carbonatos, ofrece unos porcentajes de arcilla superiores al 60 %. Este contenido es comparable al de los horizontes Bg de los pardo hidromorfos contiguos, lo cual parece indicar que se trata del mismo sedimento, sobre todo si se observa que las características químicas son igualmente análogas. Entonces la única diferencia morfológica entre estos suelos es la presencia o ausencia del sedimento calizo, lo cual ha hecho evolucionar los aluviones en contacto con ella hacia un horizonte B/Ca. En efecto, por la acción de las aguas cargadas de CO_2 debido a la actividad biológica, el CO_3Ca se solubiliza como $(\text{CO}_3\text{H})_2\text{Ca}$ y por evaporización de la solución asciende en el perfil, precipitando el carbonato cálcico en la masa arcillosa que constituye el sedimento aluvial, confiriéndole una estructura más esponjosa que favorece la permeabilidad, impidiendo al mismo tiempo la formación del pseudogley. Con el drenaje se favorece la rubefacción, evolucionando el suelo hacia un rojo mediterráneo, previa descarbonatación de los horizontes superficiales. Al tratar los suelos hidromorfos, considerados intrazonales, se volverá a considerar este factor condicionante de la evolución edáfica.

Como en el caso del suelo rojo de la terraza superior (perfil V), el contenido de materia

orgánica es muy bajo; el horizonte Ap, siendo el más rico, apenas sobrepasa el 0,80 %, descendiendo con la profundidad de forma significativa. Los porcentajes de C y N siguen la misma secuencia que la materia orgánica indicando todo ello una buena y rápida mineralización. El horizonte Ap ofrece una razón C/N próxima a 10, siendo inferior en el resto del perfil. La reacción del suelo es ligeramente básica y el complejo de cambio totalmente saturado, principalmente por cationes Ca^{++} . Todos estos datos convienen a un humus de tipo Mull, concretamente Mull cálcico.

El perfil muestra los horizontes Ap y B descarbonatados y pasa bruscamente en el siguiente, $\text{B}_2/\text{Ca}_{11}$, a un contenido de 51 % que aumenta ligeramente con la profundidad. Esta acumulación de caliza en los horizontes inferiores no puede explicarse solo a partir de un lavado de los horizontes superficiales, aunque éstos han sido descarbonatados. Hay que acudir al sedimento calizo sobre el que se sitúa el suelo, para explicar la formación de los horizontes B/Ca. Efectivamente, parece muy probable que parte de la costra caliza haya sido disuelta y por efecto de la evaporación en el periodo seco del año (durante más de 6 meses, la evaporación es superior a las precipitaciones) exista un ascenso de la solución con posterior precipitación del carbonato en la masa del suelo.

Siendo el lavado ascendente muy importante, no puede olvidarse el lavado normal, hacia la profundidad. Este se refleja en el análisis granulométrico, cuando se comparan las texturas de los horizontes Ap y B₂; mientras en el primero la proporción de arcilla es de 23,5 %, en el segundo es de 52,8 %. Existe, por consiguiente, una acumulación de arcilla en B₂, aunque hay que pensar también en la posibilidad de aportes arenosos de terrazas superiores. La iluviación afecta también a los óxidos de hierro, pasando de un contenido de 2,75 % en Ap a 6,10 % en B₂. Puede decirse entonces que se trata de un suelo lavado con horizonte B₂ textural.

El proceso de lavado, con la consiguiente descarbonatación superficial y formación del horizonte B₂, es una característica muy general en la evolución de suelos rojos y, según admiten numerosos autores, es un paso previo a la rubefacción. Según Segalen (1969) y Lanouroux y Segalen (1969) el color rojo se debe a la presencia de productos ferruginosos amorfos que recubren los demás constituyentes cristalinos. En este trabajo se han determinado los minerales amorfos y se ha comprobado que los horizontes que presentan una más intensa coloración rojiza contienen las mayores proporciones de óxidos amorfos de hierro.

El análisis químico de la fracción arcilla de este suelo muestra cierta diferencia entre los dos horizontes superiores y los profundos, sobre todo en lo que concierne a porcentajes de sesquióxidos. Esta diferencia se refleja con mayor claridad en los valores de las razones sílice/sesquióxidos. La razón $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ es inferior en superficie que en profundidad indicando con ello una posible mayor proporción de minerales de tipo montmorillonítico en los horizontes B/Ca, lo que estaría de acuerdo con el ambiente calizo de éstos. En los horizontes Ap y B, las razones $\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3$ y $\text{SiO}_2/\text{Fe}_2\text{O}_3$ son del mismo orden que en el suelo rojo de la terraza superior y sensiblemente inferiores en los horizontes calizos, siendo esta variación inversamente proporcional al contenido en óxidos libres de hierro.

Así mismo, existen diferencias entre los datos analíticos de las arcillas de los dos suelos rojos estudiados (perfiles V y IV respectivamente). Frente a unas proporciones de SiO_2 cuarcítica (representada en la tabla como residuo total del ataque triácido) superiores al 7 % para el perfil V, el perfil IV no sobrepasa el 1-2 %. Este mayor porcentaje de sílice cristalina en el perfil V hace que la razón $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ sea en realidad más baja, por lo que hay que pensar en una menor proporción de caolinita en el suelo rojo de terraza media-alta que en el de la terraza superior. Este menor contenido de caolinita y de sílice cristalina

(minerales más estables) conviene a una menor intensidad de los procesos de alteración en este suelo respecto al del nivel superior.

Los diagramas de ATD y rayos X, ya comentados anteriormente, confirman las suposiciones derivadas de los análisis químicos. En efecto, la montmorillonita es el mineral de la arcilla que domina en este suelo (perfil IV); este predominio es compartido con caolinita e illita en los horizontes superiores (Ap y B), mientras que en los B/Ca es con mucho el principal mineral argílico.

De todos estos datos puede deducirse que la diferencia existente entre los dos suelos rojos estudiados estriba fundamentalmente en el distinto grado de intensidad de los procesos edáficos que han determinado su evolución. El perfil V (suelo rojo más antiguo) ha sufrido unos procesos de alteración, hidrólisis y lavado muy intensos que han conducido a que en la actualidad no exista más que en forma de nódulos, el sedimento calizo que condicionó su evolución hacia un suelo rojo. Por la misma causa, el suelo ofrece el mayor porcentaje relativo de óxidos libres de hierro y al mismo tiempo una gran pobreza en elementos finos donde predominan cuarzo y caolinita que son los minerales arcillosos más estables.

Por el contrario, el perfil IV presenta una textura más equilibrada aunque el proceso de la-

vado se manifiesta claramente en la formación de los horizontes B (de acumulación de arcilla y sesquióxidos) y B/Ca (de acumulación caliza).

Los perfiles IV y V presentan cierta dificultad para su clasificación a nivel de grupo según la sistematía francesa. Los suelos pertenecen a la clase IX de los suelos con sesquióxidos, subclase de los fersialíticos. Dentro de la subclase, estos suelos no encajan con exactitud dentro de ninguno de los dos grupos existentes, más bien formarían un intergrado entre ambos. En efecto, se diferencian del primer grupo en la intensidad del proceso de lixiviado, ya que ofrecen un perfil A B C. Del segundo grupo se apartan por la existencia de una reserva cálcica y por tener el complejo de cambio totalmente saturado. En cualquiera de ambos grupos formarían parte del subgrupo nodal.

Dentro de la clasificación americana, los suelos rojos de terrazas corresponderían al orden de los Alfisolos, suborden xeralfs, gran grupo de los rhodoxeralfs, subgrupo typic rhodoxeralfs.

Alternando con suelos rojos, por encima de la terraza würmiense del pardo rojizo (primera terraza) se sitúan suelos con fenómenos de pseudogleización en profundidad, considerados como intrazonales en la antigua clasificación de Dokuchaiev y en la más reciente de Baldwin et al. (1938). Es la

hidromorfía, derivada de un drenaje impedido, la que ha condicionado la evolución de estos suelos y la que le da el carácter intrazonal. A este grupo de suelos pertenecen los perfiles VI, VII y VIII situados, en ese mismo orden, de menor a mayor altura sobre el nivel del río.

Según Muckenhausen (1963), es condición necesaria para la formación del pseudogley la existencia de un subsuelo más o menos espeso que impida la infiltración de las aguas de lluvia. Para Duchaufour (1970), la superposición de dos capas de distinta naturaleza granulométrica puede ser debida a dos sedimentos distintos (pseudogley primario) o bien a la formación antigua de un horizonte B colmatado por lavado de arcilla (pseudogley secundario). De aquí que haya que prever la posibilidad de la existencia de ciertas discontinuidades litológicas en estos suelos, cuyo reconocimiento es imprescindible a la hora de una correcta interpretación genética (Arnold, 1968).

Como sucede con todos los suelos de la zona de terrazas estudiada, el contenido en materia orgánica es muy pobre; en ninguno se alcanza el 1 %. Al mismo tiempo, presentan razones C/N bajas, no superándose nunca el valor de 11. Todo ello está de acuerdo con una rápida mineralización y por tanto con un humus de tipo mull, como ya se indicó anterior-

mente.

La reacción del suelo es ligeramente ácida en los horizontes superficiales, lo cual hace que sean estos horizontes los únicos entre todos los estudiados que no tienen el complejo de cambio saturado, aún cuando el grado de saturación sea de todas formas bastante elevado (el valor más bajo de V es 72,5). Ya en profundidad el pH se hace superior a 7,0, alcanzándose los valores más altos (de 7,7 a 8,2) en los horizontes donde existe acumulación de carbonatos.

El contenido en carbonatos es muy pequeño; ningún horizonte supera el 1 %, salvo los más profundos, donde existe una ligera acumulación. De todas formas, aún en estos horizontes la acumulación de caliza es insignificante (6,4 % es el valor máximo) si se compara con la que presentan los horizontes Ca de los suelos rojos, situados alternadamente en esta misma terraza (hasta 60 % en el perfil IV). Esta gran diferencia existente entre suelos vecinos estriba en la costra caliza sobre la que se han desarrollado los suelos rojos y cuya presencia no se da en los suelos con pseudogleyización. En éstos, el carbonato aparece en formas cristalinas precipitadas de la solución del suelo, a la que satura, debido al ambiente calizo de todo el área.

Desde un punto de vista granulométrico, hay que distinguir en los tres perfiles dos zonas

bien diferenciadas. Una superior formada por los horizontes Ap_1 , Ap_2 y B en los perfiles VI y VII y por los Ap y g_1 en el perfil VIII, y otra más profunda que comprende la zona donde se desarrolla fuertemente el fenómeno de la pseudogleización. En efecto, puede apreciarse en la tabla 3 las claras diferencias que existen, sobre todo en lo que se refiere a los porcentajes de arcilla, principalmente, y arena gruesa. Estas grandes diferencias texturales no pueden explicarse satisfactoriamente mediante actuación de un proceso de lixiviado, por lo que hay que pensar en una discontinuidad litológica. Según Bellinfante et al. (1970), se trata de dos sedimentos aluviales distintos.

Si bien presentan los tres perfiles con pseudogleización esta discontinuidad litológica, hay que resaltar la semejanza que ofrece la parte superior de los perfiles VI y VII frente a la correspondiente al perfil VIII. En efecto, el análisis químico total del suelo muestra un aumento regular y significativo de los sesquióxidos cuando se profundiza en dicha zona superficial de los perfiles VI y VII, poniendo de relieve dentro de ella, un proceso de lavado que conduce a la formación de un verdadero horizonte B, (Henin y Aubert, 1945). Concretamente, los valores de SiO_2 y sesquióxidos aumentan en la misma forma que lo hace la arcilla. Por el contrario, en el per-

fil VIII se han diferenciado dos horizontes por encima de la zona pseudogleyzada, que ofrecen una gran uniformidad tanto granulométrica como química, por lo que hay que admitir se trate de un mismo sedimento arenoso dividido en dos horizontes debido a que el fenómeno de la hidromorfía afecta a su parte inferior.

Por tanto, cabe hablar dentro de los perfiles VI y VII de un suelo con horizonte B de acumulación, desarrollado sobre el pseudogley y marcando respecto a éste una discontinuidad litológica, mientras que en el perfil VIII (situado en la terraza más alta) sólo se trata de un sedimento arenoso depositado sobre la zona de pseudogleyzación, como se desprende del pobre contenido en sesquióxidos. La presencia de areniscas calizas en los alcóres próximos a este perfil, induce a pensar en la probabilidad de que las arenas que cubren el pseudogley tengan esta procedencia.

En el estudio morfológico de los perfiles VI y VII hay que resaltar la presencia de un sedimento rojo subyacente al horizonte de pseudogleyzación, aunque no existen diferencias texturales acusadas entre ambos. Sin embargo, puede apreciarse cierta variación en sus respectivas composiciones químicas.

En efecto, en el perfil VII se observa que al pasar del horizonte designado por II C/Ca al IIIC, los contenidos en sílice y sesquióxidos disminuyen, para aumentar de nuevo en el siguiente. Esto, unido al cambio morfo-

lógico expresado en la descripción de este perfil, hace presumir que se trate de un sedimento distinto, perteneciente a un suelo de evolución diferente y más antigua, posteriormente fosilizado.

Este mismo sedimento rojo aparece en la parte más profunda del perfil VI, donde se ha designado como III C. Sus características químicas y morfológicas son análogas al correspondiente al perfil anterior, por lo que, unido a su situación topográfica, puede afirmarse que es el mismo sedimento.

Existe, por tanto, en estos perfiles VI y VII dos discontinuidades litológicas bien definidas tanto química como morfológicamente. Pueden dividirse, entonces, ambos perfiles en tres zonas, constituyendo cada una de ellas un suelo de distinta edad y evolución.

En lo que respecta al perfil VI, el primer suelo (más superficial) sería un pardo lavado formado por los horizontes Ap_1 , Ap_2 y Bg que está afectado por la hidromorfía del suelo subyacente constituido por los horizontes $II B_{21}g$, $II B_{22}g$ y $II B_3g/Ca$. Este conjunto de horizontes descansa sobre un suelo rojo más antiguo, fósil, al que se designa como III C.

De la misma forma hay que dividir el perfil VII; los horizontes Ap_1 , Ap_2 y B forman el suelo más reciente situado sobre el suelo pseudogleyizado que constituyen los horizontes $II Bg_{21}$, $II Bg_{22}$ y

II C/Ca. Debajo de todo ello aparece el sedimento rojo a partir del horizonte III C.

Puede afirmarse, entonces, que los suelos con pseudogleyización, situados en la zona de terrazas estudiada son poligenéticos y presentan un perfil complejo.

Según los trabajos recientes de Panoque y Olmedo (1971), la fracción arcilla se encuentra enriquecida en óxidos de hierro. Por ello, la distribución de las formas de Fe_2O_3 en estos perfiles ha de seguir las variaciones de los cambios texturales derivados de las discontinuidades observadas.

En efecto, en la tabla 6 pueden observarse las bruscas variaciones de los contenidos en las distintas formas de hierro al pasar de los horizontes superficiales al de pseudogley. Pero donde existe un mayor aumento es en el Fe_2O_3 amorfo, si se compara con las otras formas, sobre todo en los perfiles VI y VII, donde no existe tan gran contraste textural como en el perfil VIII. Esta mayor variación en los contenidos de Fe_2O_3 amorfo se pone de relieve de forma más clara comparando las razones Fe_2O_3 libre/total y Fe_2O_3 amorfo/total. Así, para valores de la primera razón iguales o inferiores en la zona pseudogleyizada que en la superficial, los valores de la segunda son superiores. Estos valores más altos están de acuerdo con la dinámica óxido-reductora del fenómeno de la pseudogley-

zación que se traduce en un mayor contenido de formas de hierro fácilmente extraíble (hierro ferroso) cuando se sigue el método de determinación de amorfos de Segalen (1968). Apoyando este extremo, Nguyen Kha y Duchaufour (1969) encuentran unas razones Fe^{++}/Fe libre más altas en suelos hidromorfos con capa colgada (caso del pseudogley) que, incluso, en los suelos hidromorfos a "engorgement". Así pues, la mayor parte del Fe_2O_3 dado como amorfo podría considerarse como hierro ferroso en realidad. Confirmando esto, se observa que la razón Fe_2O_3 amorfo/total desciende por debajo de la zona con pseudogleyización.

El análisis químico de la arcilla presenta ciertas diferencias entre los perfiles VI y VII, y el perfil VIII. En los primeros se observa un aumento del porcentaje de SiO_2 y ligera disminución del correspondiente al Al_2O_3 , al pasar de los horizontes superficiales a los horizontes con pseudogleyización, mientras que en el perfil VIII estas variaciones son al contrario, lo cual se refleja en el valor de las razones SiO_2/Al_2O_3 que aumentan ligeramente con la profundidad en los perfiles VI y VII y disminuyen en el mismo sentido en el perfil VIII. Los valores de esta razón convienen a minerales del tipo de caolinita en este último perfil y en los horizontes superficiales de los perfiles VI y VII, mientras que montmorillonita debe ser el principal mineral en los horizontes con pseudo-

gleyización de estos dos perfiles.

Los resultados del análisis térmico diferencial y de difracción de rayos X confirman este punto.

De los comentarios realizados anteriormente sobre los diagramas de AFD, se deduce que en los perfiles VI y VII existe una clara diferencia entre los registros correspondientes a los horizontes superficiales y profundos, predominando en los primeros caolinita y en los segundos montnorillonita; el contenido de ilita es uniforme en todo el perfil. Estos resultados están de acuerdo con los encontrados por González García y Pérez Rodríguez (1971, III). Por el contrario, en el perfil VIII, los registros son más uniformes y puede decirse que el mineral predominante es caolinita en todo el perfil, salvo en el horizonte más profundo g_2/Ca donde este predominio corresponde a montnorillonita. Los diagramas de difracción de rayos X corroboran esta interpretación mineralógica, como se desprende de los datos expuestos y comentados anteriormente.

Debido a la situación en terraza más alta del perfil VIII -en contacto con el Villafranco-, cabe pensar lógicamente en una mayor antigüedad de este suelo que los que representan los perfiles VI y VII, así como condiciones edafogénicas distintas. Como se ha indicado anteriormente, Faraj

y Schoen (1966) encuentran en depósitos cuaternarios de Marruecos, un predominio de caolinita en el nivel más antiguo como resultado de una alteración de tipo tropical; así mismo, González García y Pérez Rodríguez (1971, III) conceden a este mineral un carácter relictivo.

En resumen, sobre un antiguo suelo rojo de terraza se ha depositado un nuevo sedimento cuya evolución edáfica favoreció la pseudogleyización. Sobre estos horizontes pseudogleyizados, existe un nuevo sedimento más arenoso, permitiendo que el conjunto funcione como tal pseudogley. La presencia de caolinita como mineral predominante en los horizontes superiores de los perfiles VI y VII parece indicar un origen coluvial de los depósitos superficiales, ya que este mineral predomina en los suelos de terrazas altas y en los suelos rojos desarrollados sobre las areniscas calizas del Alcor.

El perfil VIII muestra así mismo, una clara discontinuidad entre los horizontes arenosos superficiales y los horizontes más arcillosos donde se desarrolla el fenómeno de la pseudogleyización. El hidromorfismo actual se sobrepone a otro proceso igualmente hidromorfo y mucho más antiguo, probablemente villafranquense.

Según la sistematización francesa, los perfiles VI y VII pertenecen a la clase VII de los

suelos enpardecidos, subclase de clima templado húmedo, grupo lavados y subgrupo lavados hidromorfos.

El perfil VIII hay que introducirlo en la clase XI de suelos hidromorfos, subclase minerales o poco humíferos, grupo con pseudogley y subgrupo de capa colgada.

Dentro de la sistematía americana (7ª aproximación), los perfiles VI, VII y VIII pertenecen al orden Alfisolos, suborden aqualfs. Es a nivel de gran grupo donde se distinguirían los perfiles VI y VII del perfil VIII. Los dos primeros formarían parte del gran grupo ochraqualfs, mientras que el perfil VIII pertenece al gran grupo albaqualfs.

En este grupo de suelos intrazonales hay que considerar el perfil IX, representativo de las tierras negras de terrazas; este suelo presenta fenómenos de hidromorfismo derivados de un drenaje impedido por su naturaleza arcillosa, así como por su topografía. En efecto, las tierras negras de terrazas se localizan siempre en pequeñas depresiones dentro de superficies planas.

Por regla general esta tierra negra de terrazas se encuentra bordeada de suelos rojos, lo que ha llevado a considerar a diversos autores que el mismo material ha sufrido un proceso de tirsificación (Mori, 1966), bajo condiciones climáticas en las que se alternan períodos húmedos con estaciones secas y

cálidas (Dudal, 1967), y con un microclima especial.

Es de resaltar que dentro de la región mediterránea, la tierra negra se localiza fundamentalmente en la parte más meridional de Europa, como, por ejemplo, sur de España (González y Chaves, 1960), sur de Italia (Fierotti et al., 1966), sur de Portugal (Marado et al., 1966), etc., y en el norte de Africa (Bryssinc, 1966; Mori, 1966). Todos estos autores coinciden en una dinámica del suelo gobernada por la sucesión alternada de períodos de humectación y desecación profundas del mismo, lo cual lleva a imprimirle un relieve típico (gilgai). Así mismo, es condición indispensable un ambiente básico, rico en cationes Ca^{++} y Mg^{++} . Marado et al. (1966) indican que su presencia está frecuentemente ligada a la existencia de caliza sedimentaria que impregnan otros tipos de rocas. Así, las dioritas originan suelos pardos, mientras que si están recubiertas de caliza dan lugar a los barros negros calizos. En este mismo sentido se pronuncian Roy et al. (1962), en sus trabajos sobre suelos negros de la India.

Para Fierotti y Romagnoli (1966) parece probable que la génesis de las tierras negras de Sicilia tuvo lugar bajo condiciones climáticas diferentes a las actuales o bien que es necesario un largo período de tiempo para su formación. A este respecto, y contrándonos en las terrazas del Guadalquivir, es

importante señalar la ausencia de este tipo de suelo en la terraza más reciente (Würn) y en la zona de vegas.

En las condiciones climáticas de Andalucía Occidental, la vertisolización es un proceso de la mayor importancia y ocurre siempre que se den condiciones de hidromorfismo. Por ello, el hecho de que en la terraza media se encuentren suelos tan diferentes como rojos, pardos con pseudogley, y tierras negras a partir de un sedimento cuya composición granulométrica es semejante en todos ellos, inclina a buscar las causas de la distinta evolución edáfica en condiciones locales de geomorfología. En este sentido se ha visto anteriormente, como los suelos rojos de esta misma terraza se sitúan sobre costra caliza de origen sedimentario, cuya ausencia conduce a la formación del suelo con pseudogley de capa superficial. Pues bien, la tierra negra siempre se localiza en pequeñas depresiones en las que el hidromorfismo se acentúa.

La tierra negra andaluza sigue la norma general de todos los suelos de la zona estudiada, en cuanto a su escaso contenido en materia orgánica se refiere. En el horizonte Ap, siendo el que ofrece un porcentaje más elevado, alcanza solo el 1 %, valor que desciende rápidamente con la profundidad. La razón C/N próxima a 10 indica una buena humificación, lo que unido a un pH superior a 7 y a una alta satura-

ción en bases, conviene a un humus mull.

El suelo se encuentra descarbonatado, aunque existen algunas concreciones calizas en profundidad; no alcanzándose en ningún horizonte el 2 ‰. Sin embargo, el suelo presenta un alto grado de saturación en bases, principalmente en cationes Ca^{++} y Mg^{++} . Para Mori (1966), la presencia abundante de estos cationes estimula la microflora con la consiguiente formación de ácidos orgánicos solubles en la época de mayor humedad, insolubilizándose rápidamente en el periodo de desecación y complejándose con los minerales de la arcilla, lo que permite su polimerización y los protegen de posterior mineralización. Hoss y Schoen (1964) y Dutil y Uny (1965) atribuyen el ennegrecimiento del suelo a uniones particulares entre los ácidos húmicos y los minerales de la arcilla. Más recientemente, en su estudio sobre la materia húmica de las tierras negras andaluzas, Díaz (1969) admite como causa principal del intenso color del suelo al alto grado de humificación y polimerización de la materia orgánica, lo cual da lugar a la formación de ácidos húmicos muy negros de gran estabilidad, y a su estrecha asociación con la fracción coloidal inorgánica del suelo.

El análisis químico del suelo ofrece valores altos de SiO_2 y sesquióxidos de acuerdo con su textura arcillosa. En efecto, el análisis granulométrico muestra una textura muy uniforme con un por-

contaje de arcilla superior al 50 %.

De acuerdo con esta uniformidad granulométrica, la distribución del hierro es muy homogénea en todo el perfil. Sin embargo, los contenidos en las diferentes formas de Fe_2O_3 sigue una secuencia muy particular. En efecto, siendo el suelo que ofrece el mayor contenido en hierro total, los porcentajes de las formas libre y amorfa son los más bajos entre todos los estudiados. Esta circunstancia se resalta de manera acusada en los bajos valores de las razones Fe_2O_3 libre/total y Fe_2O_3 amorfo/total.

La baja proporción de hierro libre podría explicarse por la formación de complejos con los ácidos húmicos polimerizados presentes en el suelo y cuya existencia ha sido puesta de manifiesto por Jambu et al. (1972); Dupuis et al. (1970), etc. De cualquier forma, su pobreza en materia orgánica no satisface plenamente estos valores, por lo que hay que pensar en otras circunstancias como, por ejemplo, la existencia de hierro en la red cristalina de la arcilla. Quizás la causa principal sea la formación de concreciones ferruginosas (como consecuencia de los procesos de óxido-reducción), cuya presencia se pone de manifiesto en la descripción morfológica del perfil. La formación de estas concreciones, estudiada por Bellinfante et al. (1970) en otros suelos hidromorfos de la zona, puede explicar así mismo la baja propor-

ción de hierro en la fracción arcilla, tratándose de un suelo que ofrece el más alto contenido medio.

El análisis químico de la arcilla presenta igualmente unos porcentajes relativamente bajos de Al_2O_3 al mismo tiempo que los más altos de SiO_2 . Esta circunstancia se refleja en una razón $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ cuyo valor próximo a 4, es el más alto determinado entre los suelos de terraza. Este valor conviene a un gran predominio de montmorillonita en todo el perfil, predominio que se confirma en los registros del análisis térmico diferencial y en los diagramas de difracción de rayos X comentados en otro capítulo.

El predominio singular de montmorillonita en este tipo de suelo, cuya evolución ha sido condicionada por una topografía peculiar, induce a considerar que una gran proporción de la arcilla sea de neoformación "in situ", de acuerdo con los trabajos de Rode et al. (1960), González García y Pérez Rodríguez (1970, I), y otros, ya que existen condiciones favorables para su síntesis.

Resumiendo, la tierra negra andaluza de terraza es un suelo desarrollado a partir de un sedimento aluvial depositado en pequeñas depresiones, lo cual ha provocado un fenómeno de hidromorfía, acentuado por la propia naturaleza arcillosa del sedimento, en un medio saturado en cationes Ca^{++} , principalmente, y Mg^{++} . La presencia de estas bases y la alternancia

de períodos de aerobiosis y anaerobiosis favorece la polimerización de compuestos húmicos oscuros que adquieren una gran estabilidad frente a la mineralización; estas condiciones no se dan en los restantes suelos de terrazas, por lo que hay que responsabilizar a dichos complejos arcillo-húmicos del color negro del suelo.

La tierra negra andaluza pertenece a la clase III de la sistemática francesa: vertisuelos, subclase con drenaje externo nulo o reducido, grupo con estructura angulosa sobre los 15 cm superiores al menos, subgrupo modal.

Según la sistemática americana, la tierra negra andaluza hay que clasificarla dentro del orden vertisuelos, suborden xererts, gran grupo chronoxererts, subgrupo typic chromoxererts.

V. CONCLUSIONES

Del estudio realizado en nueve perfiles de suelos representativos de las principales formaciones edáficas de la margen izquierda del Guadalquivir, en la zona comprendida entre los ríos Corbones y Guadaira hasta los Alcores, pueden establecerse las siguientes conclusiones :

1. En la zona los suelos se desarrollan sobre sedimentos fluviales, constituyendo ambos (suelos y sedimentos) los materiales de las terrazas del Guadalquivir. El estudio de los suelos y las características de los sedimentos permiten establecer cinco niveles con las siguientes correlaciones edafológicas, geomorfológicas y cronológicas :

- 1.1 Suelos poco evolucionados, no climáticos, de aporte aluvial y suelos pardos calizos, de perfil AC y A (B) C, sobre sedimentos calizos recientes (Fluvents). Representados por los perfiles I y II, en el nivel 0, de 0 a 7 metros (aluvial reciente).
- 1.2 Suelos isohúmicos, con complejo de cambio saturado, principalmente por Ca^{++} , con pequeño contenido en materia orgánica -suelos pardo-rojizos; "sols marrons"- (Ustoll), de perfil AB Ca C (perfil III). Sobre sedimentos calizos, en el nivel 1, de 7 a 18 metros (Soltaniense (Beaudet et al., 1967); Wirm (Vaudour, 1969); terrazas bajas wirmiensens (Bornand, 1972)).
- 1.3 Suelos de la clase empardecidos, lavados hidromorfos (Aqualf) y vertisoles con drenaje externo nulo o reducido y estructura angulosa (Xerert), de perfiles tipo A Bg Ca IIC y A (B) C (perfiles VI, VII y IX), en el nivel 2, de 18 a 50 metros (Tensiftiense (Beaudet et al., 1967); Riss (Vaudour, 1969); terrazas medias rissiensens (Bornand, 1972)).
- 1.4 Suelos fersialíticos rojos, con alta saturación en calcio y lixiviados, sobre costra caliza (Xeralf), de perfil A B Ca C, (perfil IV), en el

nivel 3, de 50 a 80 metros (Amiriense (Beaudet et al., 1967); Mindel (Vaudour, 1969); terrazas altas mindelienses (Bornand, 1972)).

1.5 Suelos fersialíticos rojos, con alta saturación en calcio y muy lixiviados, con elementos gruesos silíceos (Xeralf), de perfil A B Ca C (perfil V), y suelos hidromorfos minerales, muy lixiviados, fuertemente descarbonatados (Albaqualf), de perfil A g₁ g₂ Ca (perfil VIII), en el nivel 4, a más de 80 metros (Saletense (Beaudet et al., 1967); Günz (Vaudour, 1969); Villafranquiense (Pancque et al., 1969); altos niveles del Günz villafranquiense (Bornand, 1972)).

2. Los datos morfológicos y analíticos de los perfiles estudiados reflejan la génesis y evolución de los suelos de la zona, que puede resumirse del modo siguiente:
 - a) suelos de génesis sencilla (perfiles I y II), poco diferenciados, que constituyen los suelos de la vega, y
 - b) suelos poligenéticos, casi siempre de perfiles completos y más o menos antiguos.

3. La mayor parte de los suelos estudiados deben considerarse como suelos subactuales y/o paleosuelos. En efecto, el perfil III (suelo pardo rojizo de terraza baja) muestra características que corresponden a procesos eda-

fológicos de empardecimiento, rubefacción y lixiviado. Los perfiles IV y V son suelos fersialíticos rojos, lixiviados y con complejo de cambio saturado por bases mediante un proceso de recalificación actual. Los perfiles VI y VII son suelos empardecidos, lixiviados o lavados hidromorfos (pseudogley secundario). El perfil VIII es un pseudogley típico (planosol), y el perfil IX (vertisol) refleja la tendencia evolutiva de los suelos de la zona hacia la tirsificación cuando las características del clima del suelo y la litología son adecuadas.

4. Los suelos poco evolucionados de aporte aluvial y los suelos pardos calizos (vega, perfiles I y II) son de pH superior a 7,5 y de textura limo-arcillo-arenosa. La escasa diferenciación morfológica del perfil se refleja en los valores prácticamente constantes con la profundidad de las relaciones Fe_2O_3 libre/total y de los contenidos en hierro amorfo. Los dos perfiles muestran una proporción relativamente alta de SiO_2 amorfa en superficie (0,18 y 0,24 %), que disminuye con la profundidad.
5. Las arcillas de los suelos sobre sedimentos aluviales recientes se caracterizan por presentar razones $\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3$ de las más altas (valores próximos a 3) y las más bajas pérdidas por calcinación. Así mismo, estas

arcillas presentan bajas proporciones de Al_2O_3 y los más altos contenidos en MgO y K_2O . Estos datos y otros, juntamente con los proporcionados por los diagramas de rayos X y A.T.D., permiten concluir que la illita es el mineral predominante en estos perfiles, encontrándose además montmorillonita, que aumenta en los horizontes más profundos, y cantidades pequeñas de caolinita y clorita.

6. El suelo pardo rojizo (perfil III) es pobre en materia orgánica ($< 1\%$), tiene razón C/N baja y reacción neutra o ligeramente alcalina. El perfil es calizo y muestra redistribución de carbonatos en profundidad. Las relaciones Fe_2O_3 amorfo/total alcanzan valores más altos que en los suelos sobre aluvial reciente (vegas) y menores que en los perfiles de suelos fersialíticos rojos y suelos hidromorfos minerales de terrazas superiores.
7. En la fracción arcilla del suelo pardo rojizo de terraza existe un predominio de illita en los horizontes superiores y de montmorillonita en los inferiores, encontrándose cantidades pequeñas y constantes de caolinita.
8. Los suelos fersialíticos rojos (perfiles IV y V) de terrazas medias y altas son pobres en materia orgánica

(< 1 %), de razón C/N próxima a 10, de reacción neutra o ligeramente alcalina y desprovistos de caliza en los horizontes A y B. Poseen capacidad de cambio de cationes (T) variable con la textura y alta saturación en bases (V) en el complejo de cambio, principalmente por Ca^{++} , variando la relación $\text{Ca}^{++}/\text{Mg}^{++}$ de cambio de 3 a 10.

9. Dichos suelos son de perfil A B Ca C, existiendo un marcado contraste textural entre los horizontes A y B, con un índice de lixiviado de arcilla mayor de 1,4. Poseen pequeña proporción de SiO_2 amorfa, cantidades relativamente altas de Fe_2O_3 amorfo y contenidos en Al_2O_3 amorfa que varían con la proporción de arcilla. Las relaciones Fe_2O_3 libre/total alcanzan valores de 85 % y los contenidos en Fe_2O_3 total, libre y amorfo son mayores en el horizonte B que en los superficiales y profundos.
10. La fracción arcilla de los suelos rojos contiene fundamentalmente illita, caolinita y montmorillonita, encontrándose estos minerales en proporciones que varían en los distintos horizontes y con la situación topográfica y antigüedad del terreno. Caolinita e illita predominan en los horizontes superiores y el contenido de montmorillonita crece con la profundidad.

11. Como todos los de la zona, los suelos con pseudogleización (perfiles VI, VII y VIII) son pobres en materia orgánica ($< 1\%$) y de razón C/N próxima a 10. La reacción es ligeramente ácida en superficie y pasa a ser algo superior a la neutralidad en profundidad, donde existe una ligera acumulación de carbonatos. Estas diferencias en la reacción del suelo se reflejan en los valores de la saturación del complejo de cambio, no alcanzándose la total saturación en los horizontes superficiales. Así mismo existe una clara diferencia textural entre los horizontes superiores y los profundos donde se desarrolla el proceso de la pseudogleización. A estas distintas texturas corresponden distintas proporciones de minerales amorfos, perteneciendo los porcentajes más altos a los horizontes más arcillosos.
12. Como sucede con otras propiedades, los perfiles VI, VII y VIII muestran diferencias en la composición mineralógica de la arcilla de los horizontes superiores y profundos. En los superficiales predominan caolinita e illita, aumentando tanto más el contenido en el primero cuanto más elevado es el nivel de terraza en el que se sitúa el suelo. La montmorillonita crece con la profundidad en el perfil, siendo el mineral más abundante en los horizontes inferiores.

13. La tierra negra andaluza es el suelo que muestra una mayor uniformidad, tanto química como textural y mineralógica. En la fracción arcilla, el predominio corresponde a montmorillonita en todo el perfil, existiendo menor proporción de illita y caolinita y pequeño contenido de clorita.
14. El estudio del contenido en Fe_2O_3 libre y total de suelos de distintos niveles muestra una clara relación entre los valores medios de las razones Fe_2O_3 libre/total en los perfiles (tablas 7 y 8) y los niveles de terrazas donde éstos se sitúan. Si se exceptúa la tierra negra andaluza, los valores más altos corresponden a los suelos de terrazas más antiguas.
15. Así mismo, puede establecerse una correlación similar entre la composición mineralógica de la fracción fina del suelo y la situación topográfica del mismo. En efecto, en los suelos situados en los niveles superiores (perfiles V y VIII) predomina caolinita, mientras que en los suelos sobre aluvial reciente y terrazas bajas predomina illita. La montmorillonita aumenta en todos los perfiles con la profundidad, siendo el mineral más abundante en los horizontes inferiores.
16. Finalmente, en una visión de conjunto, se aprecia una estrecha relación entre el grado de desarrollo

del suelo y el nivel de terraza que ocupa. Puede afirmarse que el suelo zonal es el rojo mediterráneo, hacia el que tiende la evolución de los suelos más jóvenes de la vega y terraza baja. A partir de la segunda terraza (Riss) aparecen suelos fersialíticos rojos, siempre que no existan condiciones morfológicas y topográficas particulares que desvíen la normal evolución edáfica, como ocurre en los suelos considerados como intrazonales (perfiles VI, VII, VIII y IX).

VI. BIBLIOGRAFIA

- ALBAREDA, J.M., 1940. "El suelo". Edit. Saeta. Madrid.
- ALBAREDA, J.M.; GUERRA, A.; MONTURIOL, F.; MATEOS, J.P.; VICENTE, J.G. y ALONSO, J.J., 1960. "Study of the soils of the Ebro Valley". Inst. Edaf. y Fisiol. Veg., Madrid.
- ALEKSANDROVA, L.N., 1954. "Interaction between humus substances and the mineral part of the soil". Pochvov., 9, p. 23. Del abst. 590, Soils and Fertil., XVIII (1955).
- ALEKSANDROVA, L.N. y NAD', M., 1958. "The nature of organo-mineral colloids and methods studying them". Pochvov., 10, p. 21. Del abst. 13, Soils and Fertil., XXII (1959).
- ALEKSANDROVA, L.N., 1960. "The use of sodium pyrophosphate for separating free humus substances and their organo-mineral compounds from soil". Pochvov., 2, p. 90. Abst. 1085, Soils and Fertil., XXIII (1960).
- ALEKSANDROVA, L.N., 1960. "Organo-mineral compounds and organo-mineral colloids in soils". Trans. 7th Int. Cong. Soil Sc. Madison (USA).
- ALVIRA, T., 1944. "Contribución al estudio de las tierras rojas españolas". An. Edaf. y Fisiol. veg., III, p. 203.
- ARANEGUI, P., 1927. "Las terrazas cuaternarias del río Tajo entre Aranjuez (Madrid) y Talavera de la Reina (Toledo)". R. Soc. Hist. Nat. Madrid
- ARANEGUI, P., 1927. "Las terrazas cuaternarias de la Cuenca del Ebro entre Sobrón (Alava) y Haro (Logroño)". R. Soc. Hist. Nat., Madrid.

- ARANEGUI, P., 1927. "Las terrazas cuaternarias del Henares en las inmediaciones de Alcalá". Bol. R. Soc. Hist. Nat., Madrid.
- ARNOLD, R.W., 1968. "Pedological significance of lithologic discontinuities". 9º Cong. Ciencia del Suelo, Adelaida (Australia).
- A.S.T.M., 1966. "Index to the powder diffraction file". ASTM, Filadelfia (USA).
- AUBERT, G. y DUCHAUFOR, Ph., 1956. "Projet de classification des sols". 6º Cong. Int. Ciencia del Suelo, E, p. 597. Paris (Francia).
- AUBERT, G., 1960. "Influencia de la vegetación sobre el suelo. Influencia de la vegetación sobre los procesos de la edafogénesis". Rap. du sol et veg. Masson and Cie. Paris.
- AUBERT, G., 1963. "La classification des sols. La classification pédologique française". Cah. ORSTOM, sér. Pédol., 3, p. 1.
- AUBERT, G., 1965. "Classification des sols. Tableaux des classes, sousclasses, groupes et sous-groupes de sols utilisés par la section de Pédologie de l'O.R.S.T.O.M.". Cah. ORSTOM, Sér. Pédol., 3, p. 269.
- AVERY, B.W., 1956. "A classification of British soils". 6º Cong. Int. Ciencia del Suelo, E, p. 285. Paris (Francia).
- BALDWIN, M.; KELLOG, Ch. y THORP, J., 1938. "Soil classification". Soils and Men, US Dept. Agr., p. 979.
- BEAUDET, G. y RUELLAN, A., 1966. "Le cadre géomorphologique de la pédogénèse au Maroc". Livret guide Cong. Pédol. médit., I, c. 1º, p. 1.
- BEAUDET, G.; MAURER, G. y RUELLAN, A., 1967. "Le Quaternaire marocain. Observations et hypothèses nouvelles". Rev. Géog. phys. et Géol. dyn., IX, 4, p. 269.
- BELLINFANTE, N.; PANEQUE, G. y CLEMENTE, L., 1970. "Estudio físico-químico y edafognético de un perfil complejo situado en la terraza del Guadalquivir de San Pablo (Sevilla)". An. Edaf. y Agrob., XXIX, p. 463.
- BELLINFANTE, N.; PANEQUE, G. y CLEMENTE, L., 1970. "Estudio de las concreciones de un suelo de

- perfil complejo situado en la terraza del Guadalquivir de San Pablo (Sevilla)". *An. Edaf. y Agrob.*, XXIX, p. 477.
- BEREZOVA, E.F., 1960. "Biological processes of transformation of inorganic forms of phosphates in soils". *Trans. 7th Int. Cong. Soil Sci. Madison (USA)*.
- BEUTELSPACHER, H., 1955. "Wechselwirkung zwischen anorganischen und organischen Kolloiden des Bodens". *Z. Pflern. Düng*, 69, p. 108.
- BIDWELL, O.W. y MOLE, F.D., 1964. "An experiment in the numerical classification of some Kansas soils". *Soil Sc. Soc. Am. Proc.*, 28, p. 263.
- BIDWELL, O.W.; MARCUS, L.F. y SARKAR, P.K., 1964. "Numerical classification of soils by electronic computer". *8º Cong. Int. Ciencia del Suelo*, V 104, p. 933. Bucarest (Rumanía).
- BLUME, H.P. y SCHLICHTING, E., 1964. "Experimental Pedology". Nottingham.
- BOERSMA, S.L., 1955. "A theory of differential thermal analysis and new methods of measurement and interpretation". *J. Am. Ceram. Soc.*, 38, p. 281.
- BONIFAY, E., 1957. "L'âge et la signification des sols rouges méditerranéens en Provence". *C.R. Ac. Sc. Paris*, 224, p. 3075.
- BONNET, A., 1953. "Tectonique post-Villafranchienne du Languedoc méditerranéen". *Act. 4º Cong. Ass. Int. pour l'Et. du Quaternaire. Roma-Pisa*.
- BONNET, A. y BORNAND, M., 1970. "Pédologie et Quaternaire dans la vallée du Rhône Moyen". *Bull. AFEQ*, 2, 3, p. 105.
- BORDAS, S., 1942. "Contribution à l'étude des types de sols de la basse vallée du Rhône. Les terres rouges et les terres blanches du plateau de St. Christol". *Ann. Agrob.*, 2, p. 251.
- BORDAS, S., 1943. "Description et repartition de types de sols du bas Rhône. Sols rouges sur terrasses". *Bull. AFES*, 8, p. 359.
- BORNAND, M., 1969. "Les sols rouges du confluent Rhône Isère". *Sc. du Sol*, 2, p. 3.
- BORTLAND, M., 1972. "Etude pédologique de la royonnic vallée du Rhône". *Inst. Nat. de la Rech. agron. Montpellier*.

- BOTTNER, P. y LOSSAINT, P., 1967. "Etat de nos connaissances sur les sols rouges du bassin méditerranéen". *Sc. du Sol*, 1, p. 49.
- BOULAINÉ, J., 1956. "Remarques sur l'utilisation réciproque des méthodes de la Géomorphologie, de la Géologie et de la Pédologie". 6^o Cong. Int. Ciencia del Suelo, E, p. 129. Paris (Francia).
- BOULAINÉ, J., 1957. "Etude des sols des plaines du Chelif". Thèse Fac. Sc. Alger.
- BOULAINÉ, J., 1961. "Sur quelques sols rouges à carapace calcaire". *Bull. AFES*, 3, p. 130.
- BOULAINÉ, J., 1961. "Facteurs de formation de sols méditerranéens". *Sols Africains*, VI, 2 y 3, p. 249.
- BOULAINÉ, J., 1966. "Sur les facteurs climatiques de la gènesis des sols rouges". *Conf. Suelos mediter.*, p. 281, Madrid.
- BOULAINÉ, J., 1966. "Sur les relations entre les carapaces calcaires et les sols isohumiques de climat xérothérique". *Sc. du Sol*, 1, p. 3.
- BOULAINÉ, J., 1967. "Problèmes posés par les sols rouges méditerranéens". *Bull. Ann. Géog. Franç.* 354, p. 2.
- BROWN, G., 1961. "The X-ray identification and crystal structures of clay minerals". *Mineralogical Soc.*, Londres.
- BRYSSINE, G., 1966. "Contribution à l'étude des propriétés physiques des sols du Rharb". *Conf. Suelos Mediter.*, p. 75, Madrid.
- BURNHAM, C.P., 1964. "The occurrence of eluviated clay in soils of Central England". 8^o Cong. Int. Ciencia del Suelo, III, VII-25, p. 1.303. Bucarest (Rumanía).
- CABANAS, R., 1957. "Terrazas cuaternarias del Guadalquivir y sus afluentes en la provincia de Jaén". *Rev. R. Acad. Ciencias Exac., Fís, y Nat.*, LI, 2 y 3.
- CABOUAT, J. y MARCELIN, P., 1954. "Sur la formation et l'âge de quelques terres rouges de la région nîmoise". *Bull. Soc. Langued. de Géog.*, XXV, 2, p. 2. Montpellier.
- CARANDELL, J., 1925. "Las terrazas cuaternarias del Guadalquivir". *Rev. Ibérica*, 604.

- CARBAJAL, R. y MARTIN A. J., 1962. "Datos climatológicos" en el "Estudio Agrobiológico de la provincia de Sevilla". C.E.B.A.C. Sevilla.
- C.E.B.A.C., 1962. "Estudio Agrobiológico de la provincia de Sevilla". Edit. C.S.I.C. y Diput. prov. de Sevilla.
- C.E.B.A.C., 1971. "Estudio Agrobiológico de la provincia de Córdoba". Edit. C.S.I.C. y Diput. prov. de Córdoba.
- COINTEPAS, J.P., 1966. "Les sols rouges et bruns méditerranéens de Tunisie". Conf. Suelos Medit., p. 187, Madrid.
- CHARLES, G., 1949. "Sur le phénomène de la rubéfaction et ses conditions climatiques". C.R. Acad. Sc. Paris, 228, p. 589.
- CHOUBERT, G., 1948. "Sur l'âge des limons rouges superficiels du Maroc". C.R. Acad. Sc. Paris, 227, p. 639.
- CHOUBERT, G., 1956. "Essai de classification du Quaternaire continental du Maroc". C.R. Acad. Sc. Paris, 243, p. 504.
- DABIN, B., 1966. "Application des dosages automatiques à l'analyse des sols. 2^e partie: Attaque triacide (aluminium, fer, titane), Fer total, Fer libre". Cah. ORSTOM, sér. Pédol., 1, p.77.
- DACHARY, M.C., 1967. Thèse doctorat 3^e cycle. Paris.
- DEEG, E., 1956. "Theoretical consideration of differential thermal analysis. Practical conclusions". Ber. Deut. Keram. Ges., 33 (10), p. 321.
- DE LA ROSA, D., 1972. "Capacidad de uso y evaluación de los suelos de vega y terrazas de la margen izquierda del Guadalquivir en la provincia de Sevilla". Inf. Beca Fund. March, C.E.B.A.C Sevilla.
- DE LEENHEER, L.; VAN RUYMBEKE, M. y MAES, L., 1955. "L'analyse mécanique au moyen de l'hydro-mètre à chaîne". Silic. Indust., 20, p. 237.
- DEUEL, H., 1960. "Interactions between inorganic and organic soils constituents". 7^e Cong. Int. Ciencia del Suelo, 1, p. 38. Madison (USA).
- DRAIN, M.; LHENAFF, R. y VANNEY, J.R., 1971. "Le bas Guadalquivir. Introduction géographique: le milieu physique". Publ. Casa Velázquez, sér.

Recherche Sc. Soc., 1, Madrid.

- DUBOIS, G., 1931. "Essais statistiques sur les états glaciaires quaternaires et les états correspondants du niveau marin". Ann. Géog., 40
- DUCHAUFOR, Ph., 1957. "Sur le rôle de la matière organique dans les phénomènes de lessivage et de podzolisation". C.R. Acad. Sc. Paris, 245, p. 1154.
- DUCHAUFOR, Ph., 1960. "La végétation et le problème de la podzolisation en climat tempéré". Rap. Sol et Veg. Masson and Cie. Paris.
- DUCHAUFOR, Ph., 1961. "Données nouvelles sur la Classification des sols". Ec. Nat. des eaux et forêts. Nancy (France).
- DUCHAUFOR, Ph., 1963. "El papel de la vegetación en la evolución de los suelos". Conferencias, An. Edaf. y Agrob., XXI, p. 331 y XXII, p. 45 y 147.
- DUCHAUFOR, Ph., 1964. "Evolution de l'aluminium et du fer complexés par la matière organique dans certains sols". Sc. du Sol, 2, p. 3.
- DUCHAUFOR, Ph., 1968. "L'évolution des sols". Masson and Cie. Paris.
- DUCHAUFOR, Ph., 1970. "Précis de Pédologie". Masson and Cie. Paris.
- DUDAL, R., 1967. "Suelos arcillosos oscuros de las regiones tropicales y subtropicales". F.A.O Roma.
- DUPUIS, T.; JAMBU, P. y DUPUIS, J., 1970. "Sur les formes de liaisons entre le fer et les acides fulviques de sols hydromorphes". C.R. Acad. Sc. Paris, 270, p. 2264.
- DURAND, J., 1959. "Les sols rouges et les croûtes en Algérie". Serv. ét. sc. Birmandreis. Alger.
- DUTIL, P. y UNY, G., 1965. "General characteristics of black soils in the Bone plain". Bull. Ass. fr. Et. Sol, 11, p. 394.
- ENDREDDY, A.S., 1963. "Estimation of free iron oxides in soils and clays by a photolytic method". Clay Miner. Bull., 5, p. 29.
- ESTEOULE, J., 1964. "Etude de sols argileux formés

- sur les alluvions récentes de la Vilaine".
Sc. du Sol, 2, p. 169.
- FALLOU, F.A., 1862. "Pédologie oder allgemeine und besondere Bodenkunde". Dresden.
- F.A.O., 1968. "Guía para la descripción de perfiles de suelos".
- FARAJ, H. y SCHOEN, U., 1966. "Les minéraux argileux de quelques dépôts du Quaternaire ancien en Marmora (Maroc NW): Relations entre paléosols et phases climatiques". Conf. de Suelos Mediter., p. 265, Madrid.
- FEDOROFF, N., 1966. "Sols rouges à la limite nord du bassin méditerranéen (Haute Provence)". Conf. de Suelos Mediter., p. 443, Madrid.
- FERRARI, G. y MAGALDI, L., 1968. "I paleosuoli di Collecchio (Parma) ed il loro significato (Quaternario continentale padano)". L'Ateneo parmense, Acta Nat., IV, 2.
- FIEROTTI, G. y ROMAGNOLI, L., 1966. "Sols noirs méditerranéens et vertisols en Sicile Centrale". Conf. Suelos Mediter., p. 279, Madrid.
- FORTEZA, J.; GARCIA, A.; SANCHEZ, M. y MARTIN, M.T., 1968. "Los suelos de la provincia de Cáceres. IV. Suelos formados sobre sedimentos terciarios y cuaternarios". An. Edaf. y Agrob., XXVII, p. 241.
- GALLARDO, J. y VAUDOUR, J., 1969. "Problemas morfológicos y edafológicos de la región de Alcalá de Henares". An. Edaf. y Agrob., XXVIII, p.63
- GALLEGO, R. y LABORDA, E., 1959. "Estudios sobre distribución del hierro en suelos y su relación con otros factores". An. Edaf. y Agrob., XVIII, p. 547.
- GALLEGO, R. y LABORDA, E., 1959. "Distribución del hierro entre partículas de distinto tamaño del suelo". An. Edaf. y Agrob., XVIII, p.783.
- GAUCHER, G., 1959. "Les conditions géologiques de la pédogénèse nord-africaine". Bull. AFES, 12, p. 564.
- GEDROIZ, K., 1929. "Der adsorbierende Bodenkomplex und die adsorbierten Bodenkationen als Grundlage der genetischen Bodenklassifikation Kolloiden". Beihefte, p. 1.

- GIGNOUX, M., 1960. "Géologie stratigraphique". Masson and Cie. Paris.
- GIGOUT, M., 1958. "Sur le mode de formation des limons et croûtes calcaires du Maroc". C.R. Acad. Sc. Paris, 247, p. 97.
- GIGOUT, M., 1960. "Sur la gènese des croûtes calcaires pleistocènes en Afrique du Nord". C.R. Somm. Soc. Géol. Franç., 1, p. 8.
- GIGOUT, M. y RAYNALD, R., 1959. "Retouche à la corrélation des phénomènes marins et continentaux dans le Quaternaire marocain". C.R. Acad. Sc. Paris, 248, p. 2223.
- GILE, L.; PETERSON, F. y GROSSMAN, R., 1965. "The K horizon. A master soil horizon of carbonate accumulation". Soil Sc., 99, 2, p. 74.
- GONZALEZ G., F. y PEREZ R., J.L., 1970. "Constitución y propiedades físico-químicas de las arcillas de suelos del Valle del Guadalquivir. I. Tierras negras andaluzas (vertisuelos), rendsinas y suelos pardos calizos margosos vérticos (suelos margosos béticos). An. Edaf. y Agrob., XXIX, p. 791.
- GONZALEZ G., F. y PEREZ R., J.L., 1971. "Constitución y propiedades físico-químicas de las arcillas de suelos del Valle del Guadalquivir. III. Suelos poco evolucionados (suelos de vega), suelos salinos y suelos pardos hidromorfos con pseudogley". An. Edaf. y Agrob., XXX, p. 57.
- GONZALEZ G., S. y CHAVES, M., 1960. "Los tipos de suelos más frecuentes en Andalucía Occidental". An. Edaf. y Agrob., XIX, p. 213.
- GONZALEZ G., S. y SANCHEZ, M., 1965. "Complejos de adsorción de los minerales de la arcilla con dimetilsulfóxido". An. Edaf. y Agrob., XXIV, p. 495.
- GONZALEZ G., S.; SANCHEZ, M. y DIOS, G., 1967. "Complejo de adsorción de la montmorillonita con dimetilsulfóxido". An. Edaf. y Agrob., XXVI, p. 1255.
- GONZALEZ G., S. y SANCHEZ, M., 1968. "Aplicación del dimetilsulfóxido en la identificación de minerales de la arcilla en mezclas". An. Edaf. y Agrob., XXVII, p. 581.

- GRAHAM, E., 1941. "Colloidal organic acids as factors in the weathering of anorthite". *Soil Sc.*, 52, p. 291.
- GRIM, R.E., 1968. "Clay mineralogy". Mc Graw-Hill Book Cie, New York.
- GUERASSIMOV, I.P., 1954. "Les sols marrons des régions méditerranéennes". 5º Cong. Int. Ciencia del Suelo. Edt. Ac. Sc. U.R.S.S.
- GUERASSIMOV, I.P., 1956. "Sols des régions méditerranéennes de l'Afrique". 6º Cong. Int. Ciencia del Suelo, V-30, p. 189. Paris.
- GUERRA, A. y MONTURIOL, F., 1959. "Vegas altas del Guadiana". Inst. Edaf. y Agrob. CSIC. Madrid.
- GUERRA, A. y MONTURIOL, F., 1970. "Mapa de suelos de la provincia de Guadalajara". Inst. Edaf. y Agrob. C.S.I.C., Madrid.
- GUERRA, A. y MONTURIOL, F., 1970. "Mapas de suelos de las provincias de Zaragoza, Huesca y Logroño". Inst. Edaf. y Agrob. C.S.I.C., Madrid.
- HENIN, S. y AUBERT, G., 1945. "Relations entre le drainage, la température et l'évolution des sols". C.R. Acad. Sc. Paris, 220, p. 330.
- HENIN, S. y CAILLERE, S., 1963. "Minéralogie des argiles". Masson and Cie. Paris.
- HERNANDEZ P., E., 1928. "Los cinco ríos principales de España y sus terrazas cuaternarias". Trab. Mus. Nac. Cien. Nat., 36. Madrid.
- HERNANDEZ P., F., 1928. "Las terrazas cuaternarias del río Pisuerga entre Dueñas y Valladolid". Rev. R. Acad. Cien. Ex., Fis. y Nat., XXIV.
- HERNANDO, V. y SANCHEZ, P., 1954. "Estudio del pH en suelos de distintas características" An. Edaf y Fisiol. Veg., XIII, p. 737.
- HESS, C. y SCHOEN, U., 1964. "Tirs formation and classification of vertisols. Contribution of the mineralogical analysis of clays to the study of tirs". *Al Awania*, 13, p. 41.
- HIDALGO, L. y CANDELA, M.R., 1958. "El poder clorosante de los suelos calizos en el viñedo". Bol. Inst. N. Inv. Agron., XVIII, p. 383.
- HOYOS, A. y GONZALEZ G., F., 1949. "Génesis de la arcilla". Monografía, C.S.I.C., Madrid.

- HUBERT, P., 1967. "Les sols de la Vallée de l'Oued Lill (Tunisie)". *Pédol.*, XVII, 1, p. 15.
- ICOLE, M., 1971. "Essai d'une paléopédologie du Quaternaire". *Sc. du Sol*, 1, p. 93.
- INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA, 1929. "Memoria explicativa de la hoja 984 (Sevilla)". Madrid
- JACKSON, M.L. y SHERMAN, G.D., 1953. "Chemical weathering of minerals in soils". *Adv. in Agron.*, 5, p. 219.
- JACKSON, M.L., 1958. "Soil chemical analysis". Constable and Cie, Ltd. Londres.
- JACKSON, M.L., 1959. "Frequency distribution of clay minerals in major great soil groups as related to the factors of soil formation". *Clays and clay minerals*, 2, p. 133.
- JAMBU, P.; DUPUIS, T. y DUPUIS, J., 1972. "Etude de quelques aspects de la fixation du fer par les acides humiques". *Ann. Agro.*, 23 (3), p. 333.
- JENNY, H., 1935. "The clay content of the soil as related to climatic factors, particularly temperature". *Soil Sc.*, 40.
- JENNY, H., 1941. "Factors of soil formation". Mc Graw-Hill Cie, Inc. New York and London.
- KHAN, D.V., 1950. "The adsorption of organic matter by soil minerals". *Pochvov.*, 11, p. 673.
- KHAN, D.V., 1959. "The composition of humus substances and their link with the mineral part of the soil". *Pochvov.*, 1, p. 10. *Abst. 956, Soils and Fertil.*, XXII (1959).
- KLINGE, H., 1957. "Soil-Geographical studies of the soil formations on calcareous rocky south and south-east Spain". *An. Edaf. y Fisiol. Veg.*, XVI, p. 77.
- KONONOVA, M.M., 1966. "Soil organic matter". *Acad. Sc. U.R.S.S., Dokuchaev Soil Inst.*, Edt. Pergamon Press, Oxford.
- KUBIENA, W.L., 1938. "Micropedology". Ames, Iowa, USA.
- KUBIENA, W.L., 1944. "Suelo y formación de suelo desde el punto de vista biológico". *Publ. Inst. Esp. Edaf., Ecol. y Fisiol. Veg.*, Madrid.

- KUBIENA, W.L., 1953. "Claves sistematícas de suelos". C.S.I.C., Madrid.
- KUBIENA, W.L., 1970. "Pedological features of soil geography". Rutgers Univ. Press. USA.
- LAHEE, F.H., 1962. "Geología práctica". Edt. Omega. Madrid.
- LAMOUREUX, M., 1965. "Observations sur l'altération des roches calcaires sous climat méditerranéen humide (Liban)". Cah. ORSTOM, sér. Pédol., 1, p. 21.
- LAMOUREUX, M., 1966. "A propos de la formation des sols rouges méditerranéens, sous climat humide et subhumide du Liban". Conf. Suelos Medit., p. 285.
- LAMOUREUX, M., 1967. "Contribution à l'étude de la pédogénèse en sols rouges méditerranéens". Sc. du Sol, 2, p. 55.
- LAMOUREUX, M., 1968. "Les sols bruns méditerranéens et les sols rouges partiellement brunifiés du Liban". Cah. ORSTOM, sér. Pédol., 1, p. 63.
- LAMOUREUX, M. y SEGALÉN, P., 1969. "Etude comparée des produits ferrugineux dans les sols rouges et bruns méditerranéens du Liban". Sc. du Sol, 1, p. 63.
- Mc EWAN, D.M.C. y AMOROS, J.L., 1950. "La investigación roentgenográfica de las arcillas". An. Edaf. y Fisiol. Veg., IX, p. 363.
- MACKENZIE, R.C. y MITCHELL, B.D., 1957. "Apparatus and technique for differential thermal analysis". -The differential thermal investigation of clays- cap. II, p. 23. Mineralogical Society, Londres.
- MACKENZIE, R.C., 1970. "Differential thermal analysis". Acad. Press. London and New York.
- MALLADA, L., 1911. "Explicación del mapa geológico de España". VII. Madrid.
- MARADO, M.O.B. y SOARES, M., 1966. "Barros (vertisols) du sud du Portugal". Conf. Suelos Mediter., p. 49. Madrid.
- MAROCKE, R., 1962. "Les sols rouges paléoclimatiques de la terrasse würnienne rhénane alsacienne". C.R. Acad. Sc. Paris, 254, p. 3019.
- MARTIN, F.; DIAZ, E. y GONZALEZ G., F., 1971. "Cons-

- titución y propiedades de la materia húnica de una tierra negra andaluza". An. Edaf. y Agrob., XXX, p. 535.
- MARTIN, J.L.; GIRELA, F. y RODRIGUEZ, M., 1963. "Contribución a la técnica del análisis térmico diferencial". Rev. Ciencia Aplicada, 91-93.
- MENSCHING, H., 1956. "Le problème de la terre rouge méditerranéenne". Photogr. und Foschung Zeiss Ikon, 7, 2.
- MITCHELL, B.D.; FARMER, V.C. y Mc HARDY, N.J., 1964. "Amorphous inorganic materials in soils". Adv. Agron., 16, p. 327.
- MONTARLOT, G., 1953. "Observations sur l'altération du calcaire burdigalien et la gènèse du sol rouge dans la région de Vendargues-Beaulieu (Hérault)". Bull. AFES, 47, p. 5.
- MONTURIOL, F.; GALLARDO, J. y ALEIXANDRE, T., 1970. "Los paleosuelos rojos en las formaciones cuaternarias del Campo de Calatrava (Ciudad Real)". An. Edaf. y Agrob., XXIX, p. 549.
- MORI, A., 1966. "Les sols vertiques, les vertisols et les sols tirsifiés de la Tunisie du Nord". Conf. Sueloa Mediter., p. 451, Madrid.
- MUCKENHAUSEN, E., 1954. "A tentative classification scheme of the soils of Germany". F.A.O. meet. sbgr. f. soil classif. Gand.
- MUCKENHAUSEN, E., 1963. "Le pseudogley". Sc. du Sol, 1, p. 21.
- MUDARRA, J.L., 1972. "Estudio edafológico de la Cuenca del Guadalquivir (Morfología, Génesis, Sistemática y Clasificación)". Tesis en redacción. C.E.B.A.C., Sevilla.
- MUNSELL COLOR COMPANY, INC., 1954. "Munsell soil color charts". Maryland (USA).
- MYSKOW, W., 1960. "Dissolution of calcium phosphate by some soil bacteria". Acta microb. polon., 9, p. 367.
- NGUYEN KHA y DUCHAUFOR, Ph., 1969. "Note sur l'état du fer dans les sols hydromorphes". Sc. du Sol, 1, p. 97.
- NIKITIN, D.I., 1959. "The role of micro-organisms in the dissolution of difficultly available calcium compounds in soils". Izv. Akad. Nauk SSSR, ser. biol., 1.

- NONN, H., 1967. "Los terrasses du rio Miño inférieur. Localisation et étude sédimentologique". Rev. Géomorph. dyn., XVII, 3.
- NORRIS, J.M., 1970. "Multivariate methods in the study of soils". Soils and Fertil., XXXIII, p. 313.
- OLMEDO, J.L., 1971. "Algunos aspectos de la distribución y formas del hierro en el suelo". An. Edaf. y Agrob., XXX, p. 441.
- OLMEDO, J.L. y PANEQUE, G., 1971. "Contenido, distribución y formas del hierro en suelos de Andalucía Occidental. I, III y V". An. Edaf. y Agrob., XXX, p. 457, 633 y 665.
- ORCEL, J. y CAILLÈRE, S., 1933. C. R. Acad. Sc., 198, p. 13. En "Minéralogie des argiles" de Caillère y Hénin (1963).
- O.R.S.T.O.M., 1969. "Glossaire de Pédologie. Description des horizons en vue du traitement informatique". ORSTOM, Paris.
- PALLMANN, H., 1947. "Pédologie et Phytosociologie". Cong. Int. Pédol. Méditer., Montpellier.
- PANEQUE, G. y MUDARRA, J.L., 1966. "Morfología, sistematización y cartografía de los suelos de Andalucía Occidental". Conf. Suelos Medit. p 417.
- PANEQUE, G.; BELLINFANTE, N. y ALONSO, A., 1969. "Micromorphological study of the sandy soils in southern Spain". 3^o Int. Working-meeting on soil micromorphology, Wroclaw (Polonia).
- PANEQUE, G. y OLMEDO, J.L., 1971. "Contenido, distribución y formas del hierro en suelos de Andalucía Occidental. II, IV". An. Edaf. y Agrob., XXX, p. 483 y 647.
- PAQUET, H., 1960. "Evolution géochimique des minéraux argileux dans les altérations et les sols des climats méditerranéens et tropicaux à saisons contrastées". Mém. Serv. Carte Géol. d'Alsace et de Lorraine, 30. Univ. Strasbourg
- PENCK, A., 1933. "Eustatische Bewegungen des Meeresspiegels Während der Eiszeit". Géog. Zeitschr., 39
- PEREZ R., J.L., 1969. "Constitución y propiedades físico-químicas de las arcillas de suelos del Valle del Guadalquivir". Tesis Fac. Ciencias, Sevilla.
- PONOMAREVA, V.V., 1950. "New data for the study of the soil-forming process". Vest. leningrad gos.

- Univ., 7. Citada por Kononova, M.M., 1966
"Soil organic matter". Pergamon Press. Oxf.
- PONOMAREVA, V.V., 1951. "A study of the humus-illuvial podzol-forming process". Uchen. Zap. lening. gos. Univ., 140. Citada en Kononova, M.M., 1966, "Soil organic matter", Pergamon Press, Oxford.
- RAVICH-SHCERBO, Y.A., 1928. "The role of micro-organisms in the weathering of rocks". Arkhiv. biol. Nauk, 283.
- RAYNAL, R. y TRICART, J., 1963. "Comparaison des grandes étapes morphogénétiques du Quaternaire dans le Midi méditerranéen français et au Maroc". Bull. Soc. Géol. France, 7, V, p.587.
- RAYNER, J.M., 1966. "Classification of soils by numerical methods". J. Soil Sc., 17, 1, p. 79.
- RIVAS, S.; FERNANDEZ, E y RIVAS, S., 1962. "Vegetación" Cap. del "Estudio Agrobiológico de la provincia de Sevilla". C.E.B.A.C., Sevilla.
- ROBINSON, G.W., 1949. "Soils". Th. Murby, Londres.
- RODE, A.A.; YARILOVA, Y.A. y RASHEVSKAYA, I.M., 1960. "Some genetic characteristics of dark soils of large depressions". Pochvov., 8, p. 1. Abst. 181, Soils and Fertil., XXIV (1961).
- ROY, B.B. y BARDE, N.K., 1962. "Some characteristics of the blacks soils of India". Soil Sc., 93, p. 142.
- ROYO, J., 1929. "Sobre las terrazas fluviales de Torrejón de Ardoz". Bol. R. Soc. Hist. Nat.
- RUELLAN, A., 1966. "Les sols isohumiques subtropicaux au Maroc". Conf. Suelos Mediter., p. 81. Mad.
- RUELLAN, A., 1967. "Individualisation et accumulation du calcaire dans les sols et les dépôts quaternaires du Maroc". Cah. ORSTOM, sér. Pédol. 4, p. 421.
- RUHE, R.V., 1956. "Geomorphic surfaces and the nature of soils". Soil Sc., 82, p. 441.
- RUTTEN, P. y VIGNERON, J., 1959. "Contribution à l'étude des paléopodzols du Bas-Languedoc". Bull. Soc. d'Et. Sc. Nat., Nîmes.
- RUTTEN, P.; BOUTEYRE, G. y VIGNERON, J., 1963. "Pédogénèse et Géomorphologie dans le Bas-Rhône-

- Languedoc. Leurs conséquences agrologiques".
Sc. du Sol, 1, p. 87.
- SANCHEZ, J.A. y ARTES, F., 1966. "Suelos sobre costras calizas en las zonas costeras del S.E. de España". Conf. Suelos Mediter., p. 331.
- SANCHEZ, M. y GONZALEZ G., S., 1966. "Complejos inter-laminares de caolinita y halcisisita con líquidos polares". An. Edaf. y Agrob., XXV, p 9
- SANCHEZ, M. y GONZALEZ G., S., 1968. "Complejos de adsorción de la vermiculita con dinitilsulfóxido". An. Edaf. y Agrob., XXVII, p. 217.
- SANDELL, E.B., 1950. "Colorimetric determination of traces of metals". Intersc. publ., New York.
- SCHOLLENBERGER, C.J. y SIMON, R.H., 1945. "Determination of exchange capacity and exchangeable bases in soil. Ammonium acetate method". Soil Sc., 59, p. 13.
- SCHWARZENBACH, G., 1959. "Las complexonas en el análisis químico" Edt. Atlas, Madrid.
- SEGALEN, P., 1968. "Note sur une méthode de détermination des produits minéraux amorphes dans certains sols à hydroxydes tropicaux". Cah. ORSTOM, sér. Pédol., 1, p. 105.
- SEGALEN, P., 1969. "Contribution à la connaissance de la couleur des sols à sesquioxides de la zone intertropicale% sols jaunes et sols rouges" Cah. ORSTOM, sér. Pédol., 2, p. 225.
- SOIL SURVEY STAFF, 1951. "Soil Survey Manual". U.S. Dept. Agric.
- SOIL SURVEY STAFF, 1960. "Soil classification. A comprehensive system. 7th Approximation". U.S. Dept. Agriculture.
- SOIL SURVEY STAFF, 1967. "Supplement to soil classification system (7th approximation)". U.S. Dept. Agriculture.
- SPRINGER, U., 1936. "Wie äussert sich der Einfluss der Düngung auf die organische Substanz des Bodens?. Z. Pflernähr. Düng, A, 42, p. 303.
- SUDO, T. y SHIMODA, S., 1970. "Interstratified phyllosilicates". De Mackenzie, 1970; "Differential thermal analysis". Acad. Press, London, N.Y.
- SUMNER, M.E., 1963. "Effect of iron oxides on positive

- and negative charges in clays and soils". Clay Min. Bull., 5, p. 218.
- TAYLOR, R.M. y GRALEY, A.M., 1967. "The influence of ionic environment on the nature of iron oxides in soils". J. Soil Sc., 18(2), p. 341.
- TERAN, M. de, 1952. "Geografía de España y Portugal". I, p. 123. Montaner y Simón S.A., Barcelona.
- TERAN, M. de, 1967. "Geografía de España y Portugal". IV-III, p. 75. Montaner y Simón S.A., Barcel.
- TRICART, J., 1952. "Paléoclinats quaternaires et morphologie climatique dans le Midi méditerranéen". Eisz. und Gewenwait, II, p. 193.
- TRICART, J. y Michel, P., 1965. "Morphogénèse et Pédogénèse. I. Approche méthodologique: Géomorphologie et Pédologie". Sc. du Sol, 1, p. 69
- TRICHET, J., 1969. "Contribution à l'étude de l'altération expérimentale des verres volcaniques". Thèse. Paris.
- TYULIN, A.F., 1938. "Forms of link between humus substances and the mineral part of soil colloids and their importance for understanding different properties of soil colloids". Pochv., 7/8, p. 977. Citado por Kononova, M.M. en "Soil organic matter". Pergamon Press, Oxford (1966).
- TYURIN, I.V., 1937. "Soil organic matter". Sel'khozgiz. Citado por Kononova, M.M. en "Soil organic matter". Pergamon Press, Oxford. (1966).
- VAUDOUR, J., 1969. "Données nouvelles et hypothèses sur le Quaternaire de la région de Madrid". Rev. Géogr. des pays méditer., 8, p. 79.
- VIGNERON, J.; BOUTEYRE, G. y RUTTEN, P., 1966. "Cartographie et chronologie des paléosols du Bas-Languedoc. Discussion sur la place des sols rouges dans cette chronologie". Conf. Suelos Mediter., p. 297. Madrid.
- VILLAR, E.H. del, 1937. "Los suelos de la península luso-ibérica". Madrid.
- VOLOBUEV, V.R., 1964. "Ecology of soils". Israel Prog. Scient. Translat.
- WALKLEY, A. y BLACK, I.A., 1934. "An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification

- of the chronic and titration method". *Soil Sc.*, 37, p. 29.
- WEBLEY, D.M.; DUFF, R.B. y MITCHELL, W.A., 1960. "A plate method for studying the breakdown of synthetic and natural silicates by soil bacteria". *Nature*, 188, p. 766. Londres.
- WILBERT, J., 1962. "Croûtes et encroûtements calcaires au Maroc". *Al Awania*, 3, p. 175.
- WOLF, U., 1967. "Rilevanento pedologico dell'alta valle del torrente Fersina". *Ann. Acc. Ital. Sc. Forestali*, XVI.
- YAALON, D.H., 1971. "Paleopedology. Origin, nature and dating of paleosols". The Hebrew Univ. Jerusalem.
- YARILOVA, E.A., 1947. "The role of lithophilus lichens in the weathering of massive crystalline rocks". *Pochvov.*; 9, p. 533. Citada por Kononova, M.M., 1966, en "Soil organic matter". Pergamon Press, Oxford.
- ZONN, S.W., 1960. "Der Einflut des Waldes auf die Böden". G. Fischer Verlag, Jena. 166 p.