

EDAFOGENESIS COMO METODOLOGIA APROXIMADA EN EL ESTUDIO DEL CUATERNARIO.

Luis Clemente⁺, Carlos López-Reguero⁺⁺ y Jose Pascual⁺

Centro de Edafología y Biología Aplicada del Cuarto. Sevilla⁺
Dpto de Geografía. Facultad de Filosofía y Letras. Sevilla⁺⁺

RESUMEN

En un momento dado, material original, clima, vegetación y otros factores ecológicos pueden considerarse similares para cualquier punto del área de estudio. Por tanto, el tiempo es el factor fundamental que marca diferencias en el grado de desarrollo de suelos cuya evolución está condicionada por un mismo proceso edafogenético. Dichas diferencias se reflejan en una serie de variables cuya medida y distribución en el perfil están estrechamente relacionadas con la antigüedad de las superficies cuaternarias donde los suelos se desarrollan. Con objeto de obtener datos comparativos que permitan relacionar los suelos con los correspondientes niveles de terraza se estudian perfiles de suelos zonales y otros cuya evolución tiende hacia ellos.

RESUME

A un moment donné, le matériel originel, le climat, la végétation et d'autres facteurs écologiques peuvent être considérés similaires pour n'importe quel point de la zone d'étude. C'est pourquoi le temps est le facteur fondamental marquant des différences dans le degré de développement des sols dont l'évolution est conditionnée par un même processus pédogénétique. Ces différences se reflètent dans une série de variables dont le dosage et la distribution dans le profil sont rapportés étroitement à l'ancienneté des surfaces quaternaires où les sols évoluent. Afin d'obtenir des résultats comparatifs qui permettent rapporter les sols aux niveaux de terrasse, on étudie des profils de sols zonaux et d'autres dont l'évolution s'incline vers eux.

INTRODUCCION

Los suelos de terraza se desarrollan sobre materiales depositados por el río en el transcurso del Cuaternario en fases principales de sedimentación y otras que podrían considerarse secundarias, después de fenómenos de erosión, transporte y deposición dentro de una zona dada. Estos procesos determinan la geomorfología actual que se refleja en las características morfológicas de los perfiles. Por ello la interpretación genética de un suelo no es posible realizarla sin tener en cuenta su posición en el medio físico. Existe, por tanto, una estrecha dependencia entre Geomorfología y Edafología ya que la evolución geomorfológica suministra el marco a la evolución de los suelos (Tricart y Michel, 1965).

Así, Tricart (1952), Boulaine (1956) y Gaucher (1959) han organizado alrededor de un esquema geomorfológico, la distribución de los suelos, situándose los más evolucionados sobre las superficies más antiguas, con tal regularidad que las excepciones coinciden con recientes accidentes tectónicos (Bonnet, 1953). Diversos autores han descrito las formaciones edáficas desarrolladas sobre materiales cuaternarios que constituyen los valles fluviales, pudiéndose observar una gran correspondencia entre el grado de evolución del suelo y la antigüedad del nivel de terraza que ocupa.

Rutten y col. (1963) establecieron seis niveles en el Bajo Ródano. Al Cuaternario Antiguo (Günz) corresponden suelos rojos muy lavados con predominio de materiales gruesos silíceos encontrando Choubert y col. (1956) un paralelismo entre estas formaciones y las correspondientes al pluvial Saletense del norte de Marruecos. Estos mismos autores correlacionan el siguiente nivel, supuesto Mindel, con el Amiriense marroquí donde se desarrollan suelos rojos sobre acumulación caliza. Para Bornand (1969), es en este nivel y en el siguiente, supuesto Riss, en los que el proceso de la rubefacción se encuentra más acentuado. Sobre el nivel de terraza más bajo (Würm) se desarrollan suelos pardos o pardos calizos con ligero lavado de carbonatos y cierta acumulación en profundidad. Finalmente, el nivel actual formado por sedimentos recientes donde se desarrollan suelos de perfil poco diferenciado.

Icole (1971) estudia los suelos asociados a las terrazas de los grandes ríos del pie de monte nor-pirenáico, poniendo de manifiesto dos conjuntos edáficos: suelos de terrazas würmienses y rissiensis de perfiles normales y paleosuelos sobre aluviones del Cuaternario Antiguo de perfil truncado y fuerte rubefacción. Bornand (1969) ha descrito las grandes características morfológicas, analíticas y genéticas de los suelos desarrollados en los distintos niveles de terrazas de la confluencia Ródano - Isère. Boulaine (1957, 1961), en las llanuras del Chélif (Argelia), indica que las sucesivas terrazas están marcadas por procesos edáficos fundamentales. En Marruecos, la cronología de las formaciones rojas ha sido estudiada por Choubert y col. (1956), ubicando la fase más importante de la rubefacción en el Mindel, caracterizándose el würmiense por un coluvionamiento importante de material rubificado.

Bonnet y Bormand (1970) deducen las posibilidades que presenta el estudio de los paleosuelos en relación con la cronología del Cuaternario en el valle del Ródano, estableciendo correspondencias entre los diferentes niveles de terrazas y los procesos edafogénicos.

En el valle del Bajo Guadalquivir, Clemente y Paneque (1974 I, II, III, IV) establecieron una serie de niveles de terrazas y estudiaron los suelos que sobre ellos se desarrollan, pudiéndose constatar una relación directa entre el grado de evolución de las formaciones edáficas y la antigüedad de las diferentes superficies cuaternarias. En efecto, la vega actual se caracteriza por el predominio de los procesos de sedimentación sobre los edáficos. El primer nivel de terraza presenta suelos con ligera rubefacción, lavado incompleto de carbonatos y perfil escasamente diferenciado. En el segundo nivel, supuesto contemporáneo del Riss (Clemente y col., 1975), se desarrollan suelos rojos fersialíticos con horizonte B textural, siempre que el proceso de hidromorfía, derivado de una microtopografía especial, no desvíe la evolución normal del suelo que en ocasiones puede desembocar en un proceso de tirsificación (Clemente, 1978). El tercer nivel se caracteriza por la presencia de un potente sedimento de acumulación caliza sobre el que se desarrollan suelos rojos fersialíticos con alto índice de lavado (Clemente y col., 1977). Se distingue un cuarto nivel que constituye probablemente un glacis de erosión que enlaza las terrazas cuaternarias con las formaciones mio-pliocenas de los Alcores; sobre dicho glacis se desarrollan suelos rojos fersialíticos muy alterados y empobrecidos en fracción coloidal.

Finalmente, Medina y col. (1976 I, II), Paneque y col. (1977-III) y Clemente y col. (1977-IV, V) realizan un estudio similar en el valle del Medio Guadalquivir, estableciendo una serie de niveles de terrazas y glacis de erosión a los que corresponden suelos con características definidas.

Todos estos estudios y otros no reseñados, ponen de relieve la utilidad de la Edafogénesis como metodología aproximada en el estudio del Cuaternario.

AREA DE ESTUDIO

a) Rasgos geológicos y geomorfológicos.

El Valle del Guadalquivir es un antiguo golfo que con anterioridad constituyó un estrecho comunicando el Atlántico con el Mediterráneo durante el Mioceno (Gignoux, 1960; Terán, 1967). Más tarde, como consecuencia del ciclo Alpino, el mar se retira a excepción del sector Bético donde se presentan las máximas potencias de sedimentación marina. El resultado de este ciclo sedimentario es una potente serie de margas, areniscas y calizas detríticas. Estos materiales mio-pliocenos más o menos desmantelados constituyen, por lo general, la base de los depósitos cuaternarios del Guadalquivir.

Sobre el plano topográfico, el Valle del Guadalquivir presenta una forma regular, semejante a un triángulo que se alarga en dirección WSE - ENE, llamando poderosamente la atención la extraordinaria disimetría en cuanto a la disposición de la red hidrográfica ya que el Guadalquivir no circula por el centro de la depresión sino que se adosa a uno de los lados del triángulo descrito anteriormente.

Los rasgos geológicos que se pueden reseñar de la depresión parecen sencillos a primera vista. La depresión corresponde a la continuación meridional del zócalo paleozóico del Macizo Ibérico, que aflora en Sierra Morena. El zócalo se hunde progresivamente hacia el sur, recubierto por terrenos más modernos (sedimentos marinos mio-pliocenos) que descansan directamente sobre él y que se disponen en capas horizontales y subhorizontales. Sobre ellos se sitúan los depósitos cuaternarios objeto de la presente comunicación.

La estructura tectónica de la depresión está constituida en conjunto por el zócalo herciniano; continuación del de la Meseta. En algunos sectores (Carmona, por ejemplo) dicho zócalo presenta una serie de fallas normales con saltos poco importantes que pueden afectar a parte de la cobertera. La basculación del zócalo hacia el sur fué especialmente importante durante el Mioceno, lo cual explica la gran potencia de estos sedimentos que llegan a medir más de 3.000 metros al sur de Sevilla y alcanzan el máximo en el golfo de Cádiz con más de 7.000 metros de profundidad.

El Cuaternario del Guadalquivir tiene una notable importancia espacial y morfogenética que requiere analizarlo con una visión de conjunto. Hay suficientes criterios para decir que el modelado de dicho Cuaternario, y por tanto de la zona de estudio, no se ha reducido a un retoque de la paleotopografía, heredada del Terciario, sino que su fisionomía se ha configurado en la actualidad.

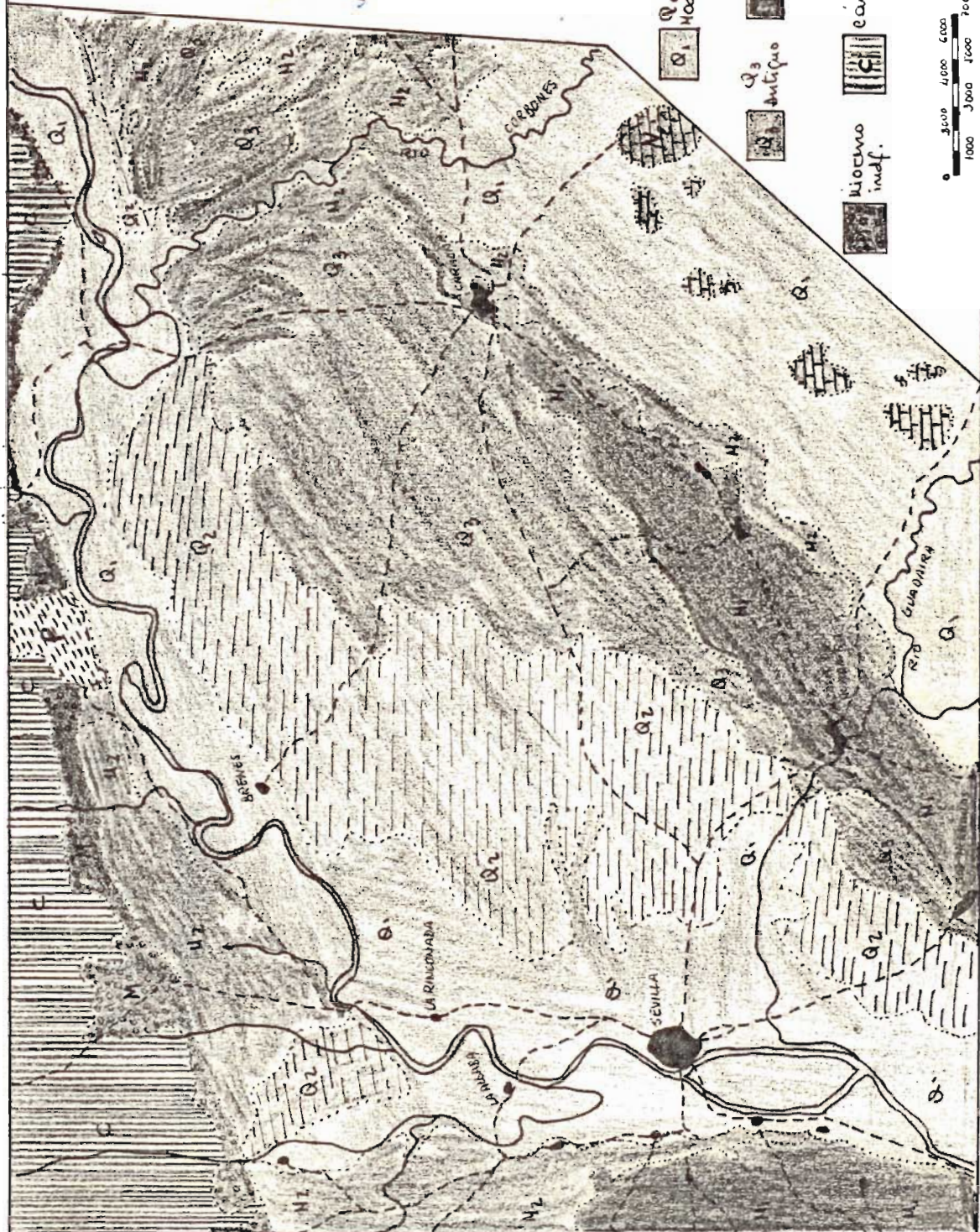
Se han trazado cuatro perfiles topográficos a escala horizontal 1/100.000 y vertical 1/20.000, en los que puede observarse la evolución de los terrenos cuaternarios del río en su recorrido desde Posadas (Córdoba) a Sevilla. Analizándolos detenidamente, se aprecia que en el corte a), el río llegó a invadir hasta la cota de 140 metros, dejando depósitos correspondientes al Cuaternario Antiguo. Hacia el área de estudio (cortes c y d) existe un descenso altimétrico progresivo y un estrechamiento de dicho Cuaternario, mientras que el área de vega actual y Cuaternario más reciente aumenta paralelamente. Dentro de éste pueden distinguirse dos niveles de terrazas claramente separados por un escarpe que sigue aproximadamente la cota de 20 metros dentro del área estudiada.

La zona es levemente ondulada y monótona tanto por su aspecto como por su formación. Se destacan dos entidades morfológicas separadas geográficamente por una línea que constituiría el meridiano de Sevilla. Al oeste, depósitos de pié de monte y al este, el sistema de terrazas del Guadalquivir con una

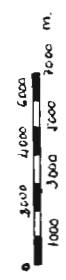
Sintesis Geologica.

e: 1/250.000

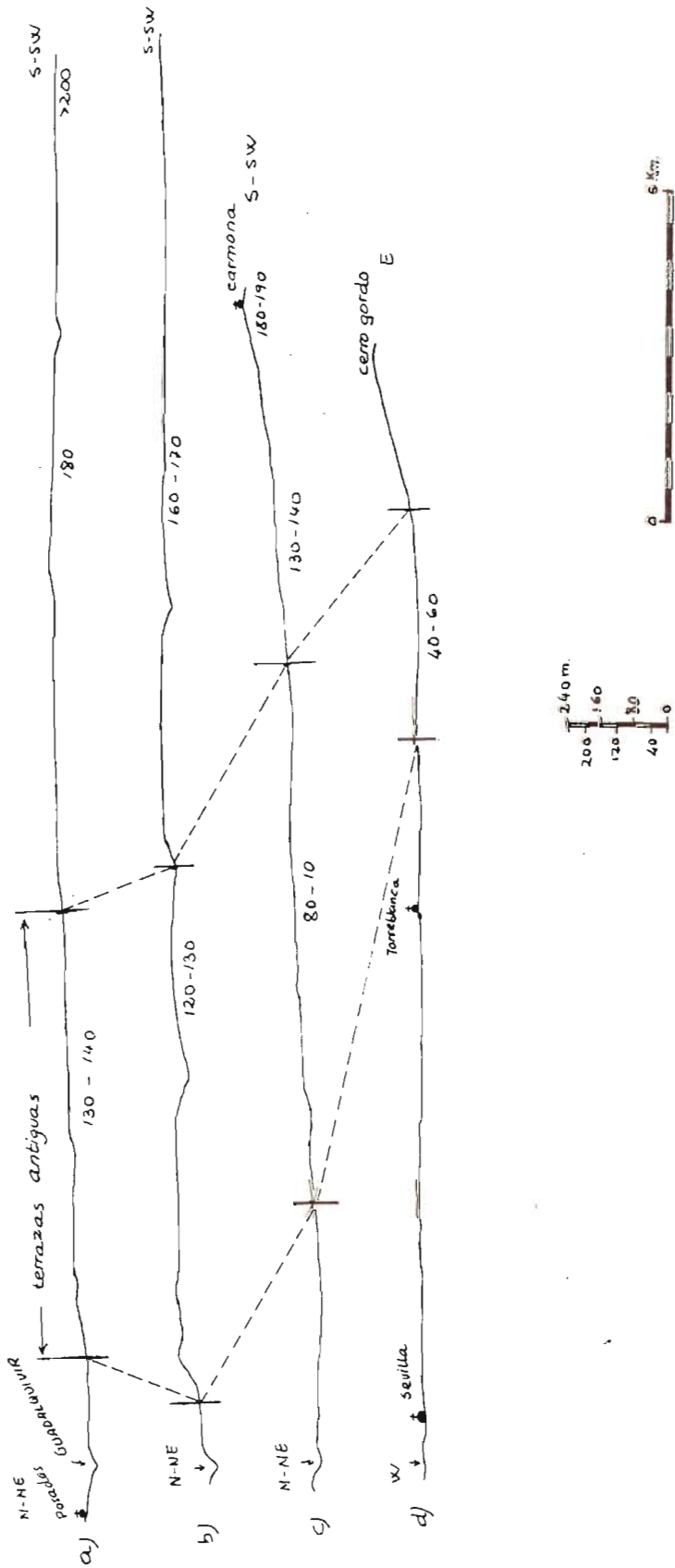
Leyenda.



- Q₁ Moderno
- Q₂ Medio
- Q₃ Antigo
- Mioceno inf.
- Mioceno sup.
- Cambrico
- Paleozoico Prof.
- Mioceno inf.



C.T.R. 71.



Perfiles topográficos de la margen izquierda del Guadalquivir.

morfología plana y pendientes de menos del 3 %. Dentro del sistema de terrazas existe un escalonamiento casi siempre oculto por la amplia acción antrópica y con su frente hacia el río. Puede cartografiarse sin dificultad al menos tres niveles de terrazas cuya zona de contacto con las formaciones mio-pliocenas de los Alcores, enmascara un posible cuarto nivel. Además, hay que señalar la llanura aluvial moderna que gana una creciente extensión a la terraza más reciente. El relieve general se caracteriza por sus formas muy suaves de acuerdo con el predominio de materiales blandos y deleznable que configuran el área. La mayor parte está ocupada por colinas débilmente onduladas, hendidas por los cauces de ríos y arroyos que drenan la región.

Este sistema de terrazas se encuentra adosado a una alineación que rompe la uniformidad del paisaje en dirección sureste. Se trata de un acusado desnivel (con valores de 100 y 125 metros) determinado por una serie de alcores (relieves) que dan origen a un conjunto geográfico-geológico-geomorfológico que probablemente esté en relación con alguna línea de mínima resistencia del sustrato paleozóico. Carmona ocupa un punto crítico en el conjunto de los Alcores elevándose sobre la depresión del Corbones (límite norte del área) más de 190 metros. La línea de cuevas está motivada por la presencia en las zonas altas de calizas de gran resistencia de origen marino que se sitúan sobre una facies de tipo predominantemente margoso. Esta alineación recorre aproximadamente unos 25 Km antes de perderse como accidente topográfico en dirección a las Marismas del Guadalquivir, donde desaparece.

b) Características edafológicas.

En la zona de estudio, comprendida en la margen izquierda del Guadalquivir entre las ciudades de Carmona y Sevilla, pueden distinguirse de forma muy esquemática dos terrenos: el aluvial, formado por sedimentos jóvenes indiferenciados desde el punto de vista edáfico, y el diluvial que comprende los diferentes niveles de terrazas donde se desarrollan suelos con distinto grado de evolución. La litología es de una gran complejidad y quizás lo más general sea el carácter calcáreo de los materiales, con una granulometría muy diversa que abarca desde arcillas a potentes mantos de gravas que en la base de las terrazas aparecen cementadas fundamentalmente por carbonatos.

Dentro de este área, siempre que la microtopografía y el microclima no lo impidan, la rubefacción es una constante en los distintos niveles de terrazas. En efecto, desde la terraza más joven con suelos pardo-rojizos hasta el nivel más antiguo con suelos rojos fersialíticos empobrecidos, el proceso de la rubefacción se manifiesta en todos los niveles, exceptuando el aluvial reciente (Clemente y Paneque, 1974 III). Existen además suelos intrazonales condicionados por un proceso de hidromorfía (pseudogleys en las terrazas medias y altas) o de tirsificación (vertisuelos en el segundo nivel de terrazas).

Puede afirmarse que el suelo zonal dentro del área de

estudio es el rojo fersialítico, hacia el que tiende la evolución de los suelos más jóvenes de la vega y primera terraza (Clemente y Paneque, 1974 III). Por ello, se han muestreado en el presente estudio suelos dentro de la zonalidad del área, con objeto de obtener valores comparativos de las diferentes variables. Los perfiles son los siguientes:

<u>Perfil I</u>		<u>Aluvial reciente</u>	<u>Typic Xerofluvent</u>
Prof. (cm)	Horiz.	Descripción	
0 - 40	Ap	10 YR 5/3 (s); areno-limosa; grumosa fina; duro (s), friable (h), no plástico (m); abundantes poros muy finos; calizo; raíces finas y medias; media actividad biológica; límite difuso.	
40 - 70	AC1	10 YR 6/3 (s); franco-arcillo-arenosa; grumosa media mod. desarrollada; duro (s), friable (h), algo plástico y lig. adher.(m); mismas caracter. que anterior	
70 - 110	AC2	Mismas características que el anterior; límite gradual.	
110 - 150	C	10 YR 6/4 (s); arcillo-arenosa; grumosa a poliédrica subangular fina mod. desar. duro (s), friable (h), lig. plástico y lig. adher. (m); gravillas aisladas; calizo.	
<u>Perfil II</u>		<u>1º nivel de terraza</u>	<u>Calcixerollic Xerochrent</u>
0 - 20	Ap	5 YR 3/3 (s); franco-arcillo-arenoso; grumosa a poliédrica subangular liger. desarrollada; duro (s), friable (h), lig. plástico y lig. adher. (m); calizo abund. raíces finas y medias; abund. poros finos y medios; media actividad biológica; límite gradual.	
20 - 32	ApB	5 YR 4/4 (s); franco-arcillo-arenosa; mismas características anterior.	
32 - 47	Bca1	5 YR 4/8 (s); franco-arcillo-arenoso; grumosa a poliédrica subangular moder. desarrollada; duro (s), friable (h), lig. plástico y lig. adher. (m); calizo muy escasas raíces finas; abund. poros finos y medios; algunas concreciones calizas gruesas; límite gradual.	
47 - 90	Bca2	5 YR 5/3 (s); franco-arcillo-arenosa; poliédrica subangular bien desarrollada duro (s), friable (h), lig. plástico y lig. adher. (m); abund. concreciones y nódulos calizos; mismas caract. anterior	
90 - 140	Cca	5 YR 5/8 (s); franco-arcillo-arenosa; poliédrica subangular fuerte desarrollo mismas caracter. anterior	

<u>Perfil III</u>		<u>2º nivel de terraza</u>	<u>Calcic Rhodoxeralf</u>
Prof. (cm)	Horiz.	Descripción	
0 - 18	Ap	2,5 YR 3/4 (h); arcillosa; poliédrica subangular moder. desarrollada; duro (s), friable (h), plástico y lig. adher. (m); frecuentes raíces finas; frecuentes poros finos y medios; <u>escasa actividad biológica; límite neto.</u>	
18 - 40	B2t	2,5 YR 3/4 (h); arcillosa; prismática media moder. desarrollada; muy duro (s), friable (h), plástico y lig. adher. (m); frecuentes raíces finas; mismas caract. anterior; lim. gradual	
40 - 62	B2tca	5 YR 4/8 (h); poliédrica media moder. desarrollada; arcillosa; muy duro (s), firme (h), plástico y adher. (m); <u>escasas raíces finas y muy finas; frecuentes poros finos y medios; escasa actividad biológica; abundantes concreciones calizas finas y gruesas; escasas concreciones de sesquióxidos muy finas; límite gradual.</u>	
62 - 84	B3ca	5 YR 5/8 (h); mismas características que anterior.	
84 - 150	Cca1	5 YR 4/8 (h); arcillosa; poliédrica subangular moder. desarrollada; <u>concreciones calizas gruesas; mismas características que anterior.</u>	
150 -	Cca2	Color abigarrado; mismas caract. ant.	
<u>Perfil IV</u>		<u>3º nivel de terraza</u>	<u>Calcic Rhodoxeralf</u>
0 - 15	Ap	5 YR 5/8 (s); 2,5 YR 3/4 (h); franco-arcillo-arenosa; <u>granosa media moder. desarrollada; duro (s), friable (h), lig. plástico y lig. adher. (m); frecuentes raíces finas y medias; abundantes poros finos; escasa actividad biológica; límite neto.</u>	
15 - 35	B2t	2,5 YR 4/6 (s), 2,5 YR 3/6 (h); arcillosa; prismática gruesa fuerte desarrollo; muy duro (s), muy firme (h), plástico y adherente (m); <u>escasas raíces muy finas; frecuentes poros finos escasa actividad biológica; gradual.</u>	
35 - 50	B2tca	5 YR 5/8 (s-h); arcillosa; poliédrica subang. media moder. desarrollada; <u>duro (s), firme (h), plástico y adherente (m); abundantes poros muy finos; pocos nódulos calizos; límite difuso.</u>	

60

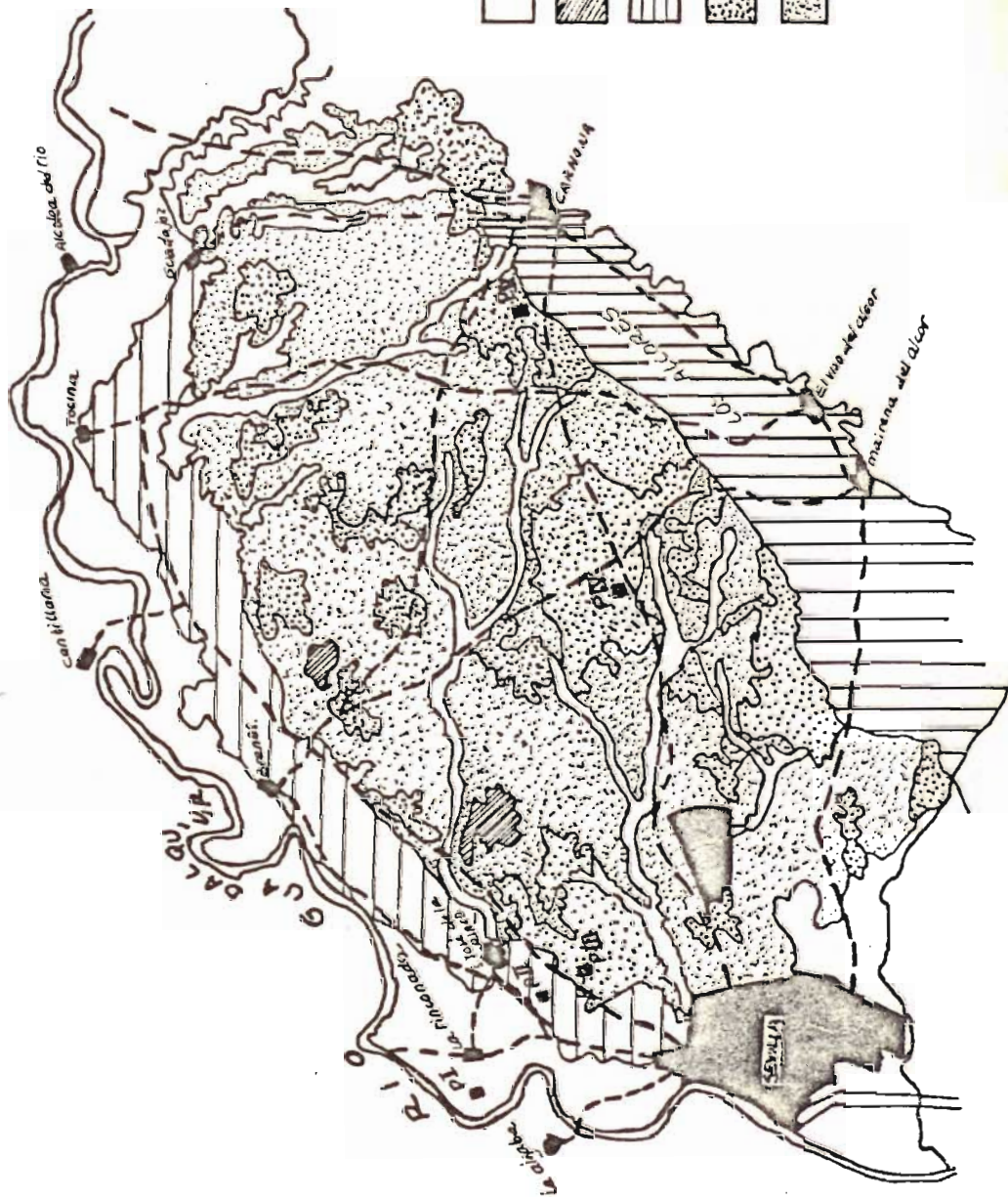
Prof. (cm)	Horiz.	Descripción
50 - 70	B3ca	5 YR 6/8 (s), 5 YR 4/8 (h); arcillosa; masiva; duro (s), firme (h), lig. plástico y lig. adher.; frecuentes poros muy finos; abundantes concreciones calizas; límite difuso.
70 -	Cca	7,5 YR 7/6 (s), 5 YR 5/8 (h); arcillosa; masiva; mismas caract. anterior.

Perfil V4º nivel de terraza ?Typic Paloxeralf

0 - 20	Ap	5 YR 6/6 (s); arenoso-franca; grumosa moder. desarrollada; blando (s), muy friable (h), no plástico y no adher. (m); abundantes raíces finas y medias; abundantes poros finos y medios; actividad biológica media; grava gruesa, media y fina abundante; límite neto.
20 - 55	B2t	5 YR 5/6 (s); franco-arenosa; grumosa a poliédrica moder. desarrollada; lig. duro (s), friable (h), no plástico y lig. adher. (m); frecuentes raíces medias y finas; abundantes poros finos y medios; actividad biológica media; abundante grava media y fina; límite gradual.
55 -	BC	5 YR 5/8 (s); arenoso-franca; grumosa lig. duro (s), friable (h), no plástico y no adher. (m); escasas raíces finas; abundantes poros finos y medios escasas gravillas; muy escasas concreciones calizas.

MAPA DE SUELOS DEL AREA DE ESTUDIO

(De la Rosa, D., 1975)



LE Y E N D A.

Suelos de aporte aluvial.
Typic xerofluvents.

Vertisoles de drenaje externo reducido.
Chromoxererts.

Suelos " Marrons".

Calcixerollic Xerochrepts.

Suelos fersialiticos.

Calcic rhodoxeralfs.

Suelos hidromorfos con pseudogley
Aquic haploxeralfs.



escala - 1:300.000

RESULTADOS EXPERIMENTALES

Teniendo en cuenta que material original, vegetación potencial y clima en un momento dado son similares en todo el área de estudio, es el factor tiempo el que va a marcar diferencias en las variables y en su distribución en el perfil.

En los perfiles seleccionados se han determinado variables que guardan una estrecha relación con el grado de evolución, tales como: análisis granulométrico, carbonato, pH, capacidad de cambio, contenido y formas de hierro y mineralogía de la fracción arcilla.

El análisis granulométrico muestra un reparto irregular de las distintas fracciones en el perfil I, lo que indica que los procesos edafogénéticos no han tenido aún influencia importante en la evolución del suelo resultante del proceso de sedimentación fluvial, por lo que predomina este carácter. Idénticas consideraciones pueden hacerse respecto a la distribución de carbonatos. El perfil II, situado en el primer nivel de terraza, presenta distribución de tamaño de partículas bastante uniforme, si bien existe ya un lavado acusado de carbonatos, concretamente se pasa de un 12-17 % en superficie a un 50 % a 47 cm. de profundidad. Los perfiles III y IV presentan un lavado muy acentuado de coloides que se manifiesta en la formación de horizontes texturales potentes. Aún cuando ambos perfiles (correspondientes a los niveles 2º y 3º, respectivamente) presentan distribuciones granulométricas similares, la intensidad del proceso de lixiviado presenta ciertas características diferenciadas, siendo el índice de lavado superior en el nivel 3º que en el 2º (2,3 frente a 1,3). A partir del 2º nivel, existe una descarbonatación total en superficie con acumulación en profundidad que llega a constituir en el nivel 3º una costra caliza que lo caracteriza (Clemente y col., 1977). El nivel más antiguo (nivel 4), en contacto con las formaciones mio-pliocenas de los Alcores, ha sufrido intensos procesos de alteración y lavado. Por tanto, el perfil V, correspondiente a un suelo rojo fersialítico desarrollado sobre dicho nivel, se encuentra muy empobrecido en fracción fina, presentando el horizonte B textural sólo un 11.8 % de arcilla, si bien el índice de lavado B/A es alto (1,4).

En la figura 2 se han representado las curvas granulométricas de los horizontes de los perfiles estudiados. En ella puede observarse de forma más clara la estrecha relación que existe entre la variable granulométrica y la antigüedad del suelo y nivel donde se desarrolla. En efecto, las curvas de los horizontes de cada perfil se separan hacia los niveles más antiguos como consecuencia de la mayor influencia de los procesos edafogénéticos. Hay que señalar que las correspondientes al perfil V vuelven a estrecharse pero en este caso como consecuencia del empobrecimiento coloidal anteriormente comentado.

La mineralogía de la fracción arcilla examinada de forma comparativa, presenta variaciones significativas del proceso edafogénético, de tal forma que, conocida la geomorfología

y el material de partida, puede caracterizar el grado de evolución del suelo de cada nivel.

El perfil I (vega actual) presenta un contenido alto en mica-ilita, medio en caolinita y bajo en montmorillonita. Las proporciones de estos minerales se mantienen en forma similar en los horizontes superficiales de los perfiles II y III. Sin embargo en profundidad se observa una disminución en el contenido de minerales ilíticos en favor de un aumento de minerales montmorilloníticos. Existe neoformación de estos últimos atribuible a la alteración de micas e ilitas por pérdida de K^+ en un medio rico en Ca^{++} . En el perfil IV (3er nivel de terraza) se presenta el máximo grado de evolución puesto que manifiesto en una reducción importante del contenido en mica-ilita y con siguiente aumento de montmorillonita de neoformación en toda la masa del perfil. La caolinita difícilmente alterable en estas condiciones se mantiene sensiblemente constante. En el perfil V hay que resaltar el aumento en el contenido de caolinita y la gran disminución en la proporción de minerales montmorilloníticos. El más alto porcentaje de caolinita se debe a un aumento relativo por desaparición de los minerales montmorilloníticos. Esto puede ser debido a la mayor alteración de este nivel de terraza y al intenso lavado que arrastra las fracciones más finas y especialmente las hinchables que dispersan fácilmente. Todo ello explicaría el empobrecimiento del perfil V en dichas fracciones y el considerable aumento en el nivel inferior (nivel 3º).

Los valores de la capacidad de cambio observan una estrecha relación con las variables ya comentadas (granulometría y mineralogía de arcilla), una vez eliminados los carbonatos. Así el valor más alto (33 meq/100 g) corresponde al horizonte B textural del perfil IV con un fuerte contenido en arcilla donde predomina montmorillonita. Por el contrario los valores más bajos (4-5 meq/100 g) se encuentran en los horizontes empobrecidos y caoliniticos del perfil V.

Quizás sea el hierro el elemento que mejor informa del grado y modo de evolución de un suelo. Por ello se han estudiado las diferentes formas de hierro y su distribución en el perfil. Concretamente se determinaron Fe_2O_3 total, libre y amorfo y las razones libre/total y amorfo/total.

Los valores de Fe_2O_3 total y libre tienen una distribución en el perfil semejante a la que presenta la fracción fina del suelo. El hierro, en un medio con pH neutro o ligeramente superior, no tiene posibilidad de disolución encontrándose precipitado y fuertemente asociado a la fracción coloidal con la que emigra mediante un proceso físico de lixiviado. En la figura 1 se observa un paralelismo total de las curvas representativas de las razones de arcilla, hierro total y hierro libre entre el horizonte subsuperficial y superficial de cada perfil. Dichas razones crecen con la antigüedad del suelo y por tanto del nivel de terraza donde se desarrolla. El perfil V muestra, una vez más, valores bajos como consecuencia del

TABLA 1.

Parfil	Horiz.	Prof.	Análisis Granulométrico (%)			%	CO ₂	pH	CCC	% Fe ₂ O ₃ total, libbre, aserfo, Razones				Mineralogía de arcillas				
			Ar-G	Ar-F	Libro					Ar.	T	L	A	V/T	N/T	Mont.	Caol.	Ilita
I	Ap	0-40	1.8	53.5	18.7	26.0	21.6	7.6	12.6	2.98	1.21	0.56	40.6	18.8	D	M	F	mf
	AC1	40-70	2.2	56.9	18.9	24.0	16.0	7.9	10.5	2.80	1.14	0.51	40.9	18.3	D	M	mf	mf
	AC2	70-110	1.3	61.6	14.3	22.8	27.0	7.9	10.1	2.64	1.09	0.47	41.2	17.8	D	M	F	mf
	C	110-150	1.1	45.0	18.9	35.0	26.0	7.7	14.8	3.26	1.35	0.60	41.4	18.4	M	M	F	mf
II	Ap	0-20	24.1	44.7	7.6	23.6	12.2	6.9	10.2	2.60	1.55	0.56	59.8	21.5	mf	D	F	F
	ApB	20-32	24.4	42.6	8.4	24.6	17.7	7.1	13.0	2.52	1.48	0.54	58.7	21.6	D	D	F	F
	Bca1	32-47	22.2	42.6	8.5	26.7	16.2	7.5	10.8	2.37	1.22	0.46	51.5	19.4	M	D	M	F
	Bca2	47-90	14.0	44.2	9.9	31.9	51.4	7.6	7.9	1.75	0.89	0.34	50.8	19.4	F	D	D	F
	Cca	90-140	13.6	51.1	6.2	29.1	30.9	7.8	10.0	2.40	1.28	0.32	53.3	13.3	mf	D	D	F
III	Ap	0-18	8.8	28.7	17.0	45.5	0.0	7.0	25.2	5.58	3.79	1.50	67.9	26.9	mf	M	M	mf
	B2t	18-40	5.9	19.9	14.5	59.7	0.0	7.1	32.4	6.65	4.60	2.05	69.2	30.8	mf	M	M	mf
	B2tca	40-62	3.5	14.4	12.1	70.0	24.2	7.8	21.4	5.58	3.27	1.25	58.6	22.4	D	D	M	mf
	B3ca	62-84	1.8	9.2	13.1	75.9	43.0	7.8	16.3	4.15	1.98	0.50	46.5	12.1	F	mf	M	mf
	Cca	84-150	2.2	10.1	19.5	68.2	30.2	7.9	18.3	4.86	2.12	0.70	43.6	14.4	mf	mf	M	mf
IV	Ap	0-15	28.9	44.1	3.5	23.5	0.0	7.1	13.7	2.75	2.07	0.77	75.5	28.0	F	M	D	F
	B2t	15-35	15.4	24.6	7.2	52.8	0.0	7.4	33.0	6.10	4.18	1.43	68.5	23.4	F	M	D	F
	B2tca	35-50	5.2	14.5	14.3	66.0	56.0	7.6	13.7	2.55	1.50	0.36	58.8	14.1	mf	D	D	F
	B3ca	50-70	6.2	15.5	10.2	68.1	63.8	7.7	10.2	2.00	0.99	0.21	49.5	10.5	mf	D	D	F
Cca	70-	3.0	17.5	15.9	63.6	57.8	7.7	12.0	2.15	1.02	0.10	47.4	4.6	mf	D	D	F	
V	Ap	0-20	49.6	32.7	9.3	8.4	0.0	6.8	4.7	1.52	1.28	0.52	84.2	34.7	mf	F	D	mf
	B2t	20-55	40.1	38.4	9.7	11.8	0.0	6.9	5.3	2.00	1.67	0.65	83.5	32.5	D	mf	D	mf
	BC	55-	33.5	50.0	9.0	7.5	0.0	6.8	4.3	1.40	1.16	0.36	82.8	25.7	D	F	D	mf

D Débil, M Media, F Fuerte

Perfil	Horiz.	Prof.	Color	% Arcilla	% Fe ₂ O ₃			Indices de lavado			
					T	L	A	Arc.	T	L	A
I	Ap	0-40	10 YR 5/3	26.0	2.98	1.21	0.56	0.92	0.94	0.94	0.91
	AC1	40-70	10 YR 6/3	24.0	2.80	1.14	0.51				
II	Ap	0-20	5 YR 3/3	23.6	2.60	1.55	0.56	1.04	0.97	0.96	0.96
	Ap8	20-32	5 YR 4/4	24.6	2.52	1.48	0.54				
III	Ap	0-18	2,5 YR 4/8	45.5	5.58	3.79	1.50	1.31	1.19	1.21	1.37
	B2t	18-40	2,5 YR 4/6	59.7	6.65	4.60	2.05				
IV	Ap	0-15	2,5 YR 5/8	23.5	2.75	2.07	0.77	2.25	2.22	2.02	1.86
	B2t	15-35	2,5 YR 4/6	52.8	6.10	4.18	1.43				
V	Ap	0-20	5 YR 6/6	8.4	1.52	1.28	0.52	1.41	1.32	1.31	1.25
	B2t	20-55	5 YR 5/6	11.8	2.00	1.67	0.65				

Figura 1

Representación gráfica de los índices de lavado (a) y de la razón Fe₂O₃ libre/total.

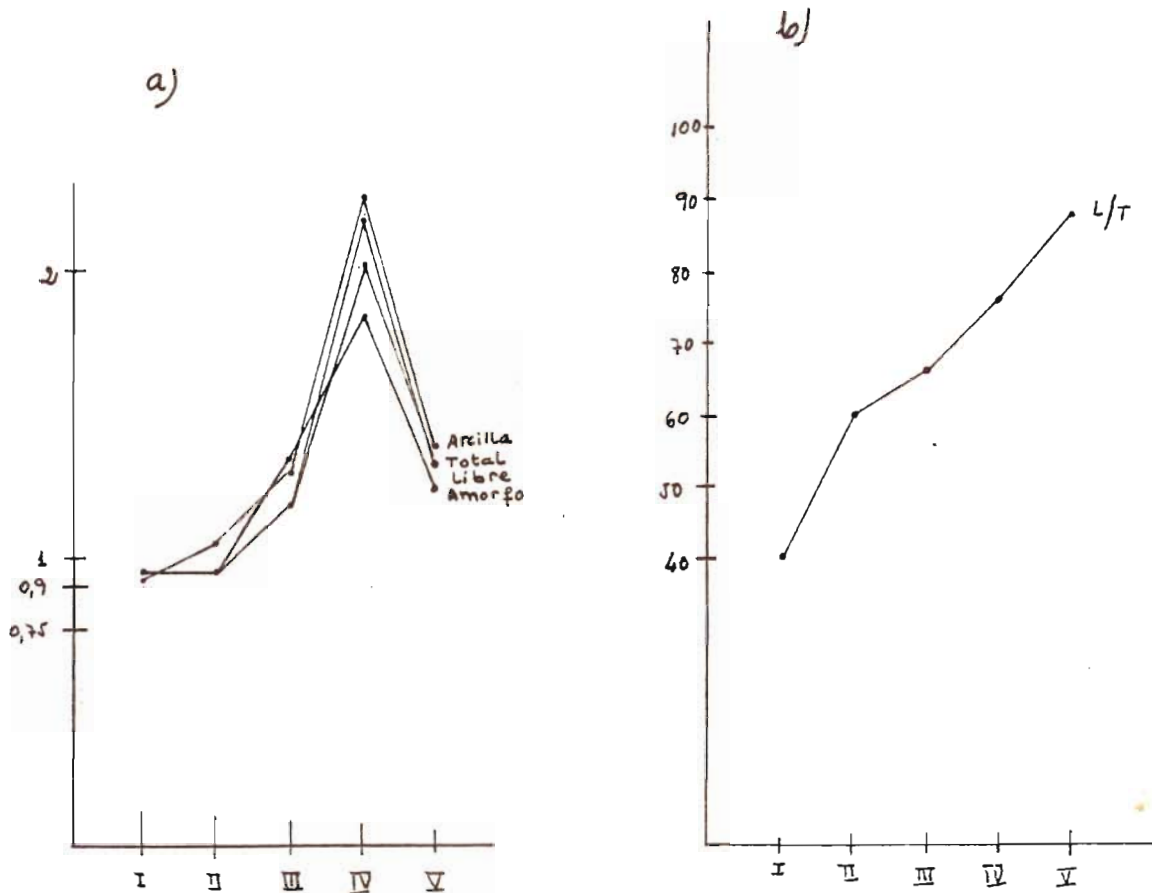
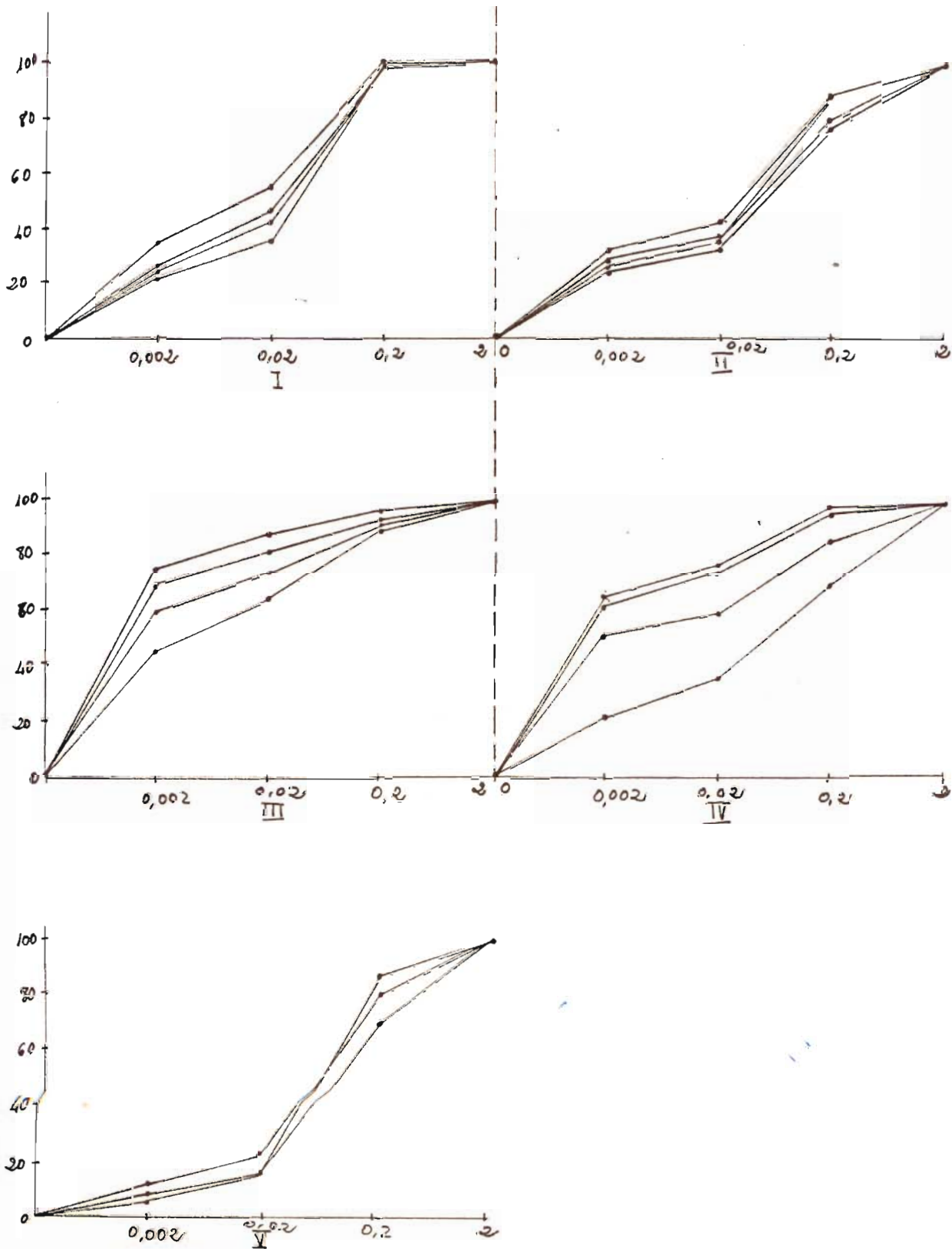


Figura 2

Representación gráfica del análisis granulométrico.



empobrecimiento coloidal del suelo correspondiente probablemente a un glacis de erosión y no a un nivel de terraza.

Segalen (1969) y Lamouroux y Segalen (1969) relacionan íntimamente el color de los suelos rojos fersialíticos con el contenido en Fe_2O_3 amorfos. En efecto, el proceso de rubefacción se acentúa desde la vega (colores Munsell 10 YR) a los niveles más altos (colores Munsell 2,5 YR) coincidiendo con un aumento en el porcentaje de Fe_2O_3 amorfo y de la razón Fe_2O_3 amorfo/ Fe_2O_3 total en los horizontes superiores. Quizás llame la atención los valores correspondientes al perfil I (vega actual) que siendo similares a los del perfil II (1er nivel de terraza) no se traduce en el color del suelo (10 YR frente a 5 YR, respectivamente). En este caso el Fe_2O_3 considerado amorfo es en realidad hierro fácilmente extraíble a partir de biotita alterada abundante en la fracción arena (Paneque y Clemente, 1974.II; Medina y col., 1977. II).

El valor más estrechamente ligado a la intensidad de los procesos edafogenéticos y a la antigüedad comparativa de los suelos, es el de la razón Fe_2O_3 libre/total, sobre todo considerando los correspondientes a los horizontes superiores ya que los más profundos pueden presentar una gran acumulación de carbonatos que desvirtúan dichos valores. En la figura 1 están representados, observándose que tanto el valor del horizonte superficial como la media de los horizontes superficial y subsuperficial tienen la misma pendiente aproximada, lo que demuestra una directa relación con la antigüedad del suelo,

CONCLUSIONES

Un proceso edafogenético es un compendio de una serie de procesos físicos, químicos y físico-químicos, tales como lixiviado, disolución, precipitación, óxido-reducción, hidrólisis y otros. Como resultado de la acción de todos estos procesos, el perfil adquiere unas propiedades cuya medida define el grado de desarrollo del suelo:

Se ha comprobado que existe una estrecha relación entre dicho grado de desarrollo, traducido por el estudio de una serie de variables, y la antigüedad de la superficie cuaternaria donde el suelo evoluciona. Esta relación puede establecerse cuando se comparan perfiles de suelos pertenecientes a diferentes estadios evolutivos dentro de la zonalidad del área de estudio; zonalidad que viene definida por el proceso de la rubefacción, de tal manera que, siempre que condiciones particulares no la desvían, la evolución normal del suelo es hacia el rojo fersialítico (Calcic Rhodoxeralf).

El estudio geomorfológico permite establecer un nivel actual de vega, tres niveles de terrazas bien definidos y un posible cuarto nivel que enlaza las superficies cuaternarias con las formaciones mio-pliocenas de los Alcores y que puede confundirse con un glacis de erosión.

La distribución en el perfil de las variables estudiadas y comentadas anteriormente (granulometría, índices de lavado, formas de hierro, capacidad de cambio y mineralogía de la fracción arcilla) así como su estudio comparativo entre los suelos pertenecientes a los distintos niveles de terrazas, con firma la diferenciación geomorfológica establecida. Todo ello permite aceptar la edafogénesis como metodología aproximada en el estudio del Cuaternario.

- Bonnet, A. 1953. Tectonique post-villafranchienne du Languedoc méditerranéen. Act. 4^e Cong. Ass. Int. pour l'Étude 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.
- Bornand, M. 1969. Les sols rouges du confluent Rhône-Isère. Sci. du Sol, 2, p.3.
- Boulaine, J. 1956. Remarques sur l'utilisation réciproque des méthodes de la Géomorphologie, de la Géologie et de la Pédologie. 6^e Cong. Int. Ciencia Suelo, E, p.129.
- Boulaine, J. 1957. Etude des sols des plaines du Chéelif. Thèse Fac. Sci. Alger.
- Boulaine, J. 1961. Sur quelques sols rouges à carapace calcaire. Bull. AFES, 3, p.130.
- Clemente, L. y Paneque, G. 1974. Propiedades, génesis y clasificación de suelos de terrazas del Valle del Guadalquivir. I. Factores ecológicos y relaciones edafogeomorfológicas. An. Edaf. y Agrobiol., XXXIII, p.215
- Clemente, L. y Paneque, G. 1974. Idem. II. Suelos aluviales. An. Edaf. y Agrobiol., XXXIII, p.225.
- Clemente, L. y Paneque, G. 1974. Idem. III. Suelos pardo-rojizos y rojos fersialíticos. An. Edaf. y Agrobiol., XXXIII, p.241.
- Clemente, L. y Paneque, G. 1974. Idem. IV. Suelos hidromorfos. An. Edaf. y Agrobiol., XXXIII, p.295.
- Clemente, L., Ménanteau, L. y Figueroa, M.E. 1975. Intento de cronología del 2^o nivel de terraza del Guadalquivir en los alrededores de Sevilla, en relación con los restos fósiles de Elephas hallados en su borde. Act. II Reun. Nac. Grupo Esp. Trab. Cuatern.
- Clemente, L., López-Reguero, C. y Figueroa, M.E. 1977. Origen, génesis y evolución de unos sedimentos calizos pertenecientes al Cuaternario Antiguo del Guadalquivir. Act. III Reun. Nac. Grupo Esp. Trab. Cuatern.
- Clemente, L., Medina, M. y Paneque, G. 1977. Suelos del Valle Medio del Guadalquivir: zona Posadas-Fuente Palmera. IV. Suelos rojos. An. Edaf. y Agrobiol., XXXVI, p.639
- Clemente, L., Paneque, G. y Medina, M. 1977. Idem. V. Suelos hidromorfos minerales y vertisuelos. An. Edaf. y Agrobiol., XXXVI, p.661.
- Clemente, L. 1978. Tierra negra andaluza (vertisol) sobre sedimentos de terrazas del Guadalquivir. An. Edaf. y Agrobiol., XXXVII, p.461.
- Choubert, G., Joly, F., Gigout, M., Marion, J., Morgat, J. y Raynal, R. 1956. Essai de classification du Quaternaire continental du Maroc. C. R. Acad. Sci. Paris.
- Gaucher, G. 1959. Les conditions géologiques de la pédogénèse nord-africaine. Bull. AFES, 12, p.564.
- Gignoux, M. 1960. Géologie stratigraphique. Masson and Cie. Paris.
- Icole, M. 1971. Essai d'une paléopédologie du Quaternaire. Sci. du Sol, 1, p.93.
- Lamouroux, M. y Segalen, P. 1969. Etude comparée des produits

- ferrugineux dans les sols rouges et bruns méditerranéens du Liban. *Sci. du Sol*, 1, p.63.
- Medina, M., Herrero, C., Clemente, L. y Paneque, G. 1976. Suelos del Valle Medio del Guadalquivir: zona Posadas - Fuente Palmera. I. Introducción y datos ecológicos y geomorfológicos. *An. Edaf. y Agrobiol.*, XXXV, p.1163
- Medina, M., Clemente, L. y Paneque, G. 1977. Idem. II. Suelos poco evolucionados. *An. Edaf. y Agrobiol.*, XXXVI, p.247.
- Paneque, G., Clemente, L. y Medina, M. 1977. Idem. III. Suelos pardo-rojizos y rendsiniformes. *An. Edaf. y Agrobiol.* XXXVI, p.263.
- Rutten, P., Bouteyre, G. y Vigneron, J. 1963. Pédogénèse et Géomorphologie dans le Bas-Rhône-Languedoc. Leurs conséquences agrologiques. *Sci. du Sol*, 1, p.87.
- 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.
- Terán, M. de 1967. *Geografía de España y Portugal*, IV-III. p.75 Montaner y Simón S.A., Barcelona.
- Tricart, J. 1952. Paléoclimats quaternaires et morphologie climatique dans le Midi méditerranéen. *Eisz. und Gegenwart*, II, p.193.
- Tricart, J. y Michel, P. 1965. Morphogénèse et Pédogénèse. I. Approche méthodologique: Géomorphologie et Pedologie. *Sci. du Sol*, 1, p.69.