



Reinterpretación del Plioceno Superior de la cuenca sedimentaria del Guadalquivir (Olivares, Sevilla, España): caracterización físico-química del perfil *El Calvario*

Upper Pliocene reinterpretation of the Guadalquivir sedimentary basin (Olivares, Seville, Spain): physical-chemical characterization of the El Calvario profile

Recio Espejo, J.M. ⁽¹⁾; Díaz del Olmo, F. ⁽²⁾; Lama Sánchez, A. ⁽³⁾;
Borja Barrera, C. ⁽²⁾; Sáez Jiménez, A. ⁽¹⁾

(1) Dpto. Botánica, Ecología y Fisiología Vegetal, Facultad de Ciencias, Universidad de Córdoba.

Campus de Rabanales, s/n, 14071-Córdoba, España bv1reesj@uco.es

(2) Dpto. Geografía Física y A.G.R., Facultad de Geografía e Historia, Universidad de Sevilla.

C/ María de Padilla, 41004, Sevilla, España.

(3) Dpto. Ciencias Sociales, Fundación San Pablo Andalucía (CEU). Glorieta Ángel

Herrera Oria, s/n, Bormujos, 41930-Sevilla, España.

Resumen

El Plioceno Superior de la cuenca sedimentaria del Guadalquivir está caracterizado por un episodio continental de carácter edáfico con neoformación de caolinitas. C. Viguier (1974) estableció el nivel guía en el perfil El Calvario (Olivares) en la plataforma de El Aljarafe (provincia de Sevilla, España). Se estudia físico-química y mineralógicamente y se reinterpreta el perfil de tres metros de potencia, a partir de un muestreo sistemático cada 10-20 cm hasta el material parental y el significado del mismo en relación al Plioceno Medio. Los resultados muestran una evolución polifásica del perfil, con tres partes bien diferenciadas sedimentológicamente, formación de caolinitas, intensa rubefacción, incorporación de carbonatos y procesos eólicos que lo hacen muy diferente del material parental. Los cambios en la distribución de la fracción arena modifican su porosidad y el movimiento de esmectitas, diferenciándose dos fases edafológicas imbricadas en los bloques sedimentarios existentes.

Palabras clave: paleoalteración; Plioceno Superior; cuenca del Guadalquivir; perfil El Calvario.

Abstract

The Upper Pliocene of the Guadalquivir sedimentary basin is characterized by a continental episode of soil character with neoformation of kaolinites. Claude Viguier (1974) established the guide level in the profile El Calvario (Olivares) in the Aljarafe of the province of Seville (Spain). This three meter thick profile is physically



and mineralogically studied and reinterpreted from a systematic sampling every 10-20 cm to the parent material and its meaning in relation to the Middle Pliocene. The results show a multiphasic evolution of the profile, with three sedimentological well differentiated parts, kaolinites formation, intense rubefaction, incorporation of carbonates and aeolian processes that make it very different from the parental material. Changes in the distribution of the sand fraction modify its porosity and the esmectites movement, differentiating two pedological phases imbricated in the existing sedimentary sectors.

Key words: paleoweathering; Upper Pliocene; Guadalquivir basin; El Calvario profile.

1. Introducción

En el año 1974, Claude Viguié, en su Tesis de Doctorado de Estado caracterizó el Plioceno Superior del Neógeno de la cuenca sedimentaria del Guadalquivir como un episodio plenamente continental caracterizado por un “... clima de tipo ferruginoso correspondiente a un clima cálido y húmedo...” (sic, p. 367), del que su principal formación correlativa se correspondía con el denominado *Perfil de Olivares* (El Aljarafe, Sevilla, SW de España). Según Viguié (1974, p. 336), *las formaciones del Plioceno medio al pie de Sierra Morena están sometidas a una edafogénesis de la que el paleosuelo de Olivares permite apreciar su importancia*. A partir de entonces, dicho perfil se convirtió en la principal formación correlativa del Plioceno Superior en la cuenca sedimentaria del Guadalquivir (Viguié, 1974; Mayoral y González, 1987; Mayoral, 1989; Fernández-Caliani y Cantano, 2010; De Torres et al., 1975), localizándose dicha edafogénesis a techo del Plioceno Medio. Según este autor, “... en su parte Sur el paleosuelo ocupa todo el alto de la trinchera. A techo, el horizonte de acumulación de arcillas, de color pardo manchado, presenta una estructura prismática bien neta en una cincuentena de centímetros. Hacia abajo la estructura se agota rápidamente hasta desaparecer mientras que, en el mismo sentido, el color pasa a tonos rojizos cada vez más claros. La migración de hidróxidos férricos se mantiene también hasta los tres metros al menos. Hacia abajo aparecen, en el extremo del camino, facies limosas beige claro del Plioceno medio...” (sic, p. 336).

El relleno sedimentario del tramo final de la Depresión del Guadalquivir corresponde en exclusividad a la serie del tránsito Mioceno Superior-Plioceno (Civis et al., 1987; Sierró Sánchez et al., 1996). El final de la secuencia de dicho relleno se aprecia de forma completa en la cornisa de El Aljarafe, una pequeña plataforma alargada e inclinada en dirección N-S, desde la depresión periférica de Sierra Morena, hasta las Marismas del Guadalquivir, limitada al E y W por los valles fluviales de los ríos Guadalquivir y Guadiamar respectivamente. La serie aflorante en el escarpe de El Aljarafe se compone de un nivel de gran espesor de arcillas conocidas, localmente con el nombre de *Margas Azules*, de cronología Messiniense Superior, compuestas fundamentalmente de margas carbonatadas de tonalidad gris azulado. Encima de éstas aflora un nivel de capas arcillo-limosas entre las que se intercalan, con alternancia rítmica, bancos de arenas sueltas o cementadas (areniscas), de cronología Mioceno Superior que se conocen como las *facies de transición* (Mayoral y González, 1987; Mayoral Alfaro, 1989). Finalmente, a techo de la serie aparece un nivel de limos arenosos amarillentos, también carbonatados, originados al comienzo del Plioceno, a cuyo techo evolucionan, durante todo el Cuaternario, los típicos suelos ferruginosos mediterráneos (rojos-pardos) propios de la comarca de El Aljarafe (De Torres et al., 1975).

A partir de los datos de Viguié (1974), el Plioceno Superior, y en general, el tránsito Plio-Pleistoceno de la cuenca sedimentaria del Guadalquivir en sus diferentes sectores paleogeográficos (Recio et al., 1993; Núñez et al., 1999; Núñez y Recio, 2007) ha ido mos-

trando otros episodios continentales similares, interpretados paleoambientalmente como de tipo tropical, como es la alteración laterítica del SW de las Arenas de Bonares (Huelva) (Pendón y Mayoral, 1986; Díaz del Olmo *et al.*, 2010; Fernández-Caliani y Cantano, 2010).

En el presente trabajo se propone una revisión en campo y reinterpretación de las características del perfil de El Calvario, el cual mostró unos rasgos complejos con superposición de procesos edáficos y horizontes, y con colores y texturas arenosas diferentes. Se planteó, en consecuencia, un análisis exhaustivo de los tres metros superiores de esta formación clave del Plioceno Superior de la cuenca del Guadalquivir, proponiéndose el estudio edafo-sedimentario de este *paleosuelo*, así como, del material parental del Plioceno Medio a través de un análisis físico-químico y mineralógico del mismo, con el objetivo de caracterizar su génesis y evolución, evidenciando las distintas condiciones ambientales por las que ha pasado.

2. Área de estudio y métodos

La carretera que une las localidades de Olivares y Sanlúcar la Mayor (A-8077), corta el cerro de El Calvario, generando una trinchera de varios metros de altura (la misma que visitó, estudió y representó C. Viguiet en sus trabajos). A diez metros de esta trinchera, en el mismo cerro de El Calvario, se ha levantado un perfil de 300 cm de potencia. Dicho perfil se encuentra en el sector N de la plataforma de El Aljarafe, a una cota de 175 m.s.n.m., coincidiendo con el vértice geodésico del cerro de El Calvario. Se localiza mediante las coordenadas 37° 24' 45.76" N / 6° 0.9' 51.71" W, en el término municipal de la sevillana localidad de Olivares (Fig. 1).

El perfil objeto de estudio se obtuvo a partir de la limpieza manual de un escarpe artificial (Fig. 2) utilizándose para su caracterización edafo-sedimentaria en campo, los criterios de FAO (1977; 2015). Una vez descrito, se ob-

tuvieron un total de 18 muestras con una cadencia de 10 cm las 6 primeras (hasta 60 cm de profundidad), y cada 20 cm las restantes, hasta los 300 cm, para su caracterización físico-química en el laboratorio, mediante la determinación de diferentes parámetros como han sido: color (Munsell, 1990), pH (Gutián y Carballas, 1976), conductividad eléctrica (USDA, 1973), carbono y materia orgánica por ignición (Sims y Haby, 1971), carbonatos totales (Duchaufour, 1975), porosidad (MAPA, 1986), susceptibilidad magnética (Dearing, 1999), y, por último, fracciones granulométricas (Soil Survey England and Wales, 1982). Se ha calculado también el coeficiente de modificación eólica, mediante el cociente entre las fracciones de arena fina (0,25-0,125 mm ϕ) y arena muy fina (0,125-0,063 mm ϕ), para evaluar la acción erosiva y modificadora del viento. Finalmente, se ha llevado a cabo una caracterización mineralógica a partir del análisis semicuantitativo de las arcillas siguiendo los métodos propuestos por Brindley and Brown (1980) y Montealegre (1976).

3. Resultados

A pesar de presentar una gran uniformidad morfológica, la revisión en campo de las características del perfil de El Calvario mostró unos rasgos complejos con superposición de procesos edáficos y horizontes con cromas y texturas arenosas diferentes.

El análisis físico-químico de los parámetros obtenidos indica una compartimentación del perfil en diferentes bloques sedimentarios y varias fases de procesos altero-edafofológicos. Así, utilizando el color se puede establecer una primera aproximación macroscópica, que pone de manifiesto, a priori, la existencia de tres unidades diferenciables en el perfil. Efectivamente, el color en húmedo (color (h)), varía entre HUE 2,5YR y 10YR, con cromas en seco (s) pardo-amarillentos (10YR 3/4-7,5YR 6/8) desde el techo del perfil hasta los 100 cm de profundidad, tonos rojizos (5YR 5/8-7,5YR 7/8) en la zona intermedia, entre 100 y 240 cm, y, finalmente, tonalidades intensamente

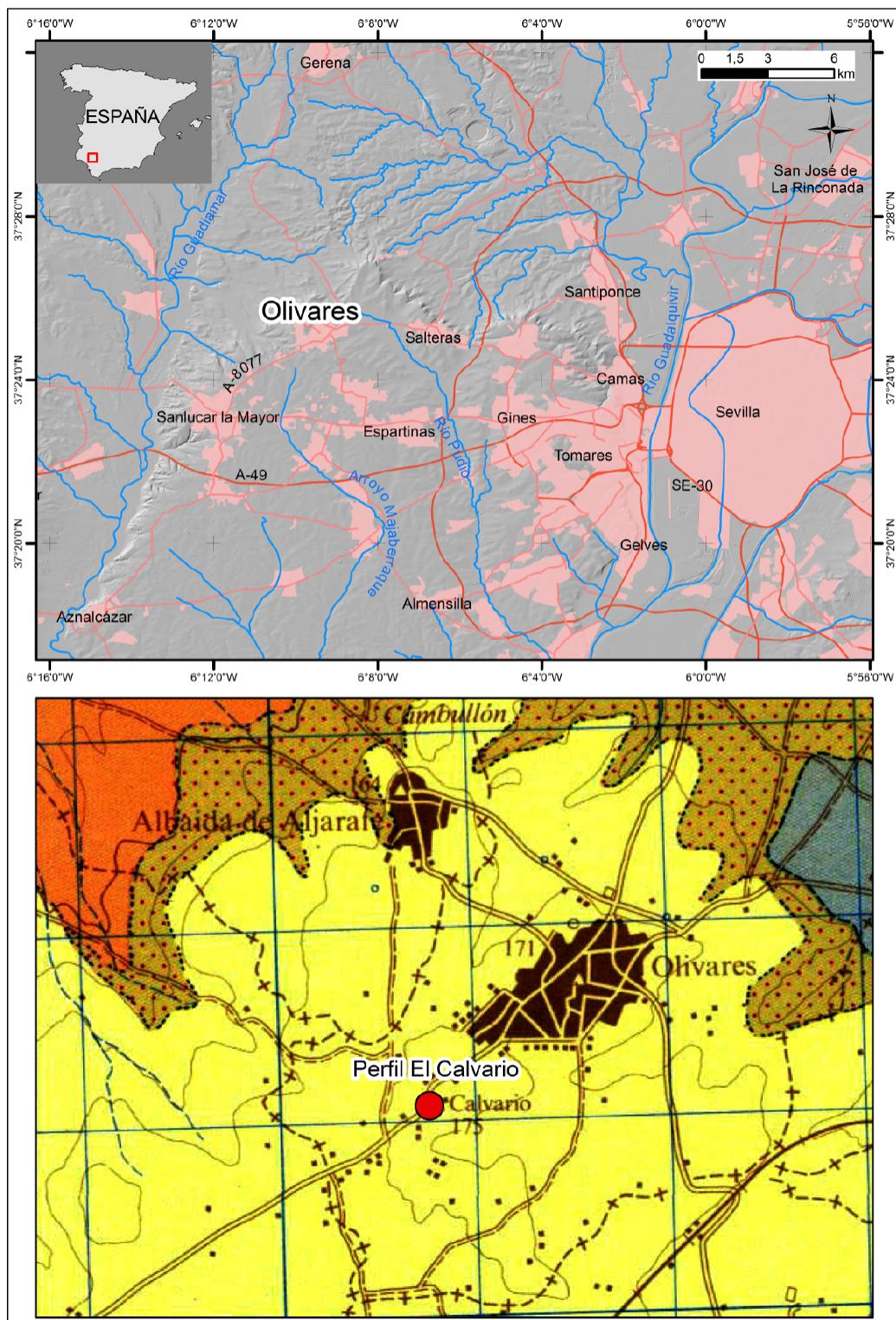


Figura 1: Localización área de estudio (De Torres *et al.*, 1975).

Figure 1: Location area studied (De Torres *et al.*, 1975).

rojas en la base del perfil (2,5YR 5/6), entre 250-290 cm (Tabla 1; Fig. 2). Por su parte, el material parental sobre el que se forma el paleosuelo presenta cromas pardo-amarillentos (10YR 5/6) (Tabla 1).

El pH (Tabla 1) muestra valores comprendidos entre 5,8 y 7,4, con una distribución bastante homogénea a lo largo del mismo. Los valores más bajos de este parámetro vienen a coincidir con los niveles del tramo inferior del perfil entre 250-290 cm de profundidad. Por su parte, la conductividad eléctrica (C.E. mhs/cm), indicadora de la salinidad, presenta valores comprendidos entre 0,16 y 0,88 mhs/cm como valores mínimo y máximo respectivamente a lo largo de todo el perfil, salvo la

muestra situada a 140-160 cm de profundidad, que alcanza un valor de 2,50 mhs/cm (Tabla 1; Fig. 3). Este valor marca una anomalía en el desarrollo vertical del perfil que denota un cambio en las condiciones ambientales, tanto sedimentarias como hidrológicas en las que se conformó este tramo. El carbono orgánico (COrg.), por otro lado, está presente en mayor cuantía en el tramo superior del perfil con valores que van disminuyendo desde 1,44% a techo, a 0,12% en 40-50 cm, llegando a ser inexistente en el resto del perfil, salvo en el tramo medio (120-160 cm) en el que alcanza contenidos del 0,39-0,16%, incremento que podría ser indicativo de la existencia de un paleosuelo (Fig. 3).

Tabla 1: Caracterización físico-química del perfil El Calvario. Análisis semicuantitativo de la fracción arcilla. (C.E.: conductividad eléctrica; COrg.: carbono orgánico; M.O.: materia orgánica ignición; CO³⁺: carbonatos; Por: porosidad; S.M.: susceptibilidad magnética; Es.: esmectitas; I: illita; K: caolinita).

Table 1: Physical-chemical characterization of El Calvario profile. Clay fraction semiquantitative analysis. (C.E.: electric conductivity; Corg.: organic carbon; M.O.: organic matter by ignition; CO³⁺ carbonates; Por: porosity; S.M.: magnetic susceptibility; Es: smectites; I: illite; K: kaolinite).

Prof. (cm)	Color (seco)	Color (húmedo)	pH (H ₂ O)	C.E. (mhs/cm)	COrg. (%)	M.O. (ig.%)	CO ³⁺ (%)	Por. (%)	S.M. (X 10 ⁻⁹ m ³ / Kg)	Es. (%)	I (%)	K (%)
0-10	10YR 5/6	10YR 3/4	6,7	0,42	1,44	3,33	24	48,65	80	trazas	24	76
10-20	10YR 6/6	7,5YR 4/6	7,2	0,46	0,42	3,19	16	48,91	135	-	-	-
20-30	10YR 7/8	7,5YR 5/6	7,2	0,45	0,18	2,72	27	45,91	65	trazas	19	81
30-40	7,5YR 6/8	7,5YR 5/8	7,0	0,16	0,54	2,33	25	47,37	60	-	-	-
40-50	7,5YR 6/6	7,5YR 5/6	6,8	0,38	0,12	1,73	28	46,08	45	trazas	22	78
50-60	7,5YR 6/8	7,5YR 6/8	7,0	0,56	0	2,32	27	46,19	55	-	-	-
60-80	10YR 7/8	7,5YR 6/8	6,8	0,64	0	1,86	31	48,44	30	24	29	47
80-100	10YR 7/6	7,5YR 6/8	7,2	0,73	0	1,59	32	48,70	20	-	-	-
100-120	10YR 8/8	7,5YR 7/8	6,7	0,62	0	1,33	20	49,14	20	48	21	31
120-140	10YR 7/8	10YR 5/8	6,8	0,35	0,39	1,64	18	48,43	25	-	-	-
140-160	7,5YR 7/4	7,5YR 6/6	6,4	2,50	0,16	1,49	6	46,42	20	28	28	44
160-190	5YR 6/8	5YR 5/8	6,9	0,49	0	1,94	13	51,29	20	-	-	-
190-210	5YR 6/8	5YR 5/8	7,1	0,25	0	1,79	5	50,00	15	trazas	26	74
210-230	5YR 5/8	5YR 5/8	7,2	0,24	0	1,84	9	50,00	25	-	-	-
230-250	7,5YR 6/8	7,5YR 5/6	7,4	0,51	0	2,02	18	48,30	25	9	26	65
250-270	2,5YR 6/8	2,5YR 4/8	6,3	0,88	0	2,05	1	49,32	25	-	-	-
270-290	2,5YR 6/6	2,5YR 5/6	5,8	0,70	0	1,80	2	49,13	25	15	24	61
290-300	10YR 7/6	10YR 5/6	-	-	-	-	0	-	-	75	17	8



Figura 2: Perfil El Calvario.
Figure 2: El Calvario profile.

La materia orgánica (M.O. ig.) presenta valores altos, por encima del 3%, en los niveles superiores asociados, probablemente, a la presencia de la vegetación actual. Sin embargo, aparecen niveles con valores de M.O. también altos a distintas profundidades, siendo los más resaltables los que se reconocen a 50-60 cm (2,32%), así como a 230 y 270 cm, ambos ligeramente por encima del 2% (Fig. 3). Los valores de porosidad (Por.), por su parte, se mantienen homogéneos en torno al 45-49% a lo largo de todo el perfil, salvo a la cota 160 cm donde se advierte un cambio en la tendencia, pasándose de forma brusca desde valores del 46,42 a 51,29% (Fig. 3). Finalmente, la susceptibilidad magnética (S.M. $\chi \times 10^{-9}$) alcanza valores muy bajos comprendidos entre 15 y 135 $\chi \times 10^{-9}$ (m^3/Kg), a pesar del intenso color rojizo generalizado que presenta el perfil, apareciendo los más elevados en el techo del mismo (Tabla 1).

En relación a los carbonatos totales (CO_3^{2-}) presentan bastante homogeneidad a lo lar-

go del perfil, aunque pueden distinguirse dos tramos bien diferenciados. Por un lado, uno superior comprendido entre la superficie y 100 cm, en el que los contenidos oscilan entre 16 y 32%, con una tendencia al alza conforme se avanza en profundidad, hasta alcanzar el valor máximo de 32%; y, de otra, un tramo inferior, comprendido entre 140 y 290 cm, con valores muy bajos que van desde el 1 al 18% (Fig. 3). Esta distinción refuerza nuevamente la idea de un comportamiento diferenciado dentro del perfil en dos sectores. La presencia abundante de estos en todo el perfil frente al carácter descarbonatado del material parental, induce a pensar en una fuente exógena para este componente, procedente de una incorporación durante el desarrollo sedimentario y edafológico experimentado a lo largo de su evolución.

Por su parte, la distribución de partículas (Tabla 2) muestra un porcentaje de arenas totales (A.T. %) en todo el perfil superior al 70%, indicativo de su naturaleza claramente arenosa, siendo bajos los contenidos en arcillas y limos. Los valores más frecuentes de presencia de arcillas están en torno al 12,5%, mientras que para la fracción limos se sitúan entre 0 y 15,50 % (Fig. 3).

La relación de la distribución de los distintos tamaños que presentan las arenas muestra como las fracciones muy gruesas (2-1,0 mm \emptyset) y gruesas (1-0,5 mm \emptyset), junto a gravillas y gravas redondeadas de cuarcita englobadas en esta matriz arenosa, están presentes de forma evidente en los primeros 60 cm del perfil. Por el contrario, desde los 40 cm hasta los 120 cm de profundidad se reconoce un aumento de las arenas finas (0,25-0,125 mm \emptyset) que predominan sobre las muy finas (0,125-0,063 mm \emptyset), evidenciando la intervención de un proceso muy selectivo en su sedimentación probablemente de carácter eólico. A partir de los 120 cm de profundidad el tamaño de las diferentes fracciones de arenas predominantes se invierte, siendo las finas y muy finas las más abundantes, al igual que ocurre en el material parental que presenta un 77,96% de arenas muy finas,

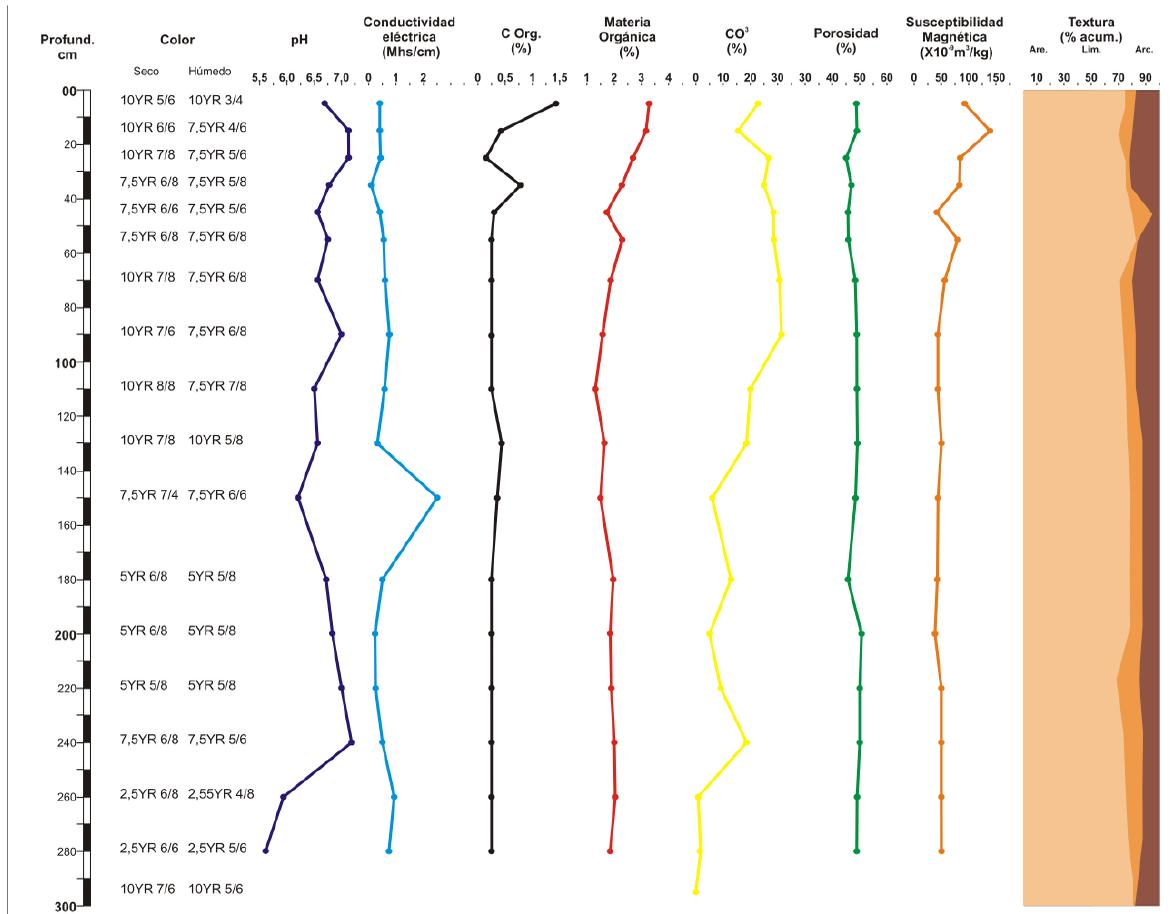


Figura 3: Caracterización físico-química: cambios con la profundidad.

Figure 3: Physical-chemical characterization: changes with depth.

frente al 21,05% de finas (Tabla 2). El coeficiente de modificación eólica (Tabla 2) obtenido en base al cociente entre el contenido de arenas finas y muy finas, cuanto más superiores a 0,27 (material parental) más señala la importancia de la acción del viento en la conformación de dicho depósito.

El análisis de la fracción arcilla (Tabla 1) muestra las características de este proceso de alteración que ha afectado al perfil de El Calvario, al tiempo que evidencia, al igual que con algunos otros parámetros comentados con anterioridad, la existencia de diversos tramos en la conformación del mismo. Todo el perfil presenta unos contenidos muy elevados de caolinitas (K), siendo más altos en

el tramo superior (desde el techo a 40-50 cm de profundidad), con valores comprendidos entre 76 y 81%; más bajos son entre 60-190 cm, con porcentajes variables entre el 31 y 47%; y, finalmente, por debajo de 190 cm, unos valores más elevados nuevamente, alcanzando porcentajes comprendidos entre el 61 y 74%. La presencia de caolinitas en el material parental (por debajo de 290 cm) es muy escasa con valores que alcanzan tan solo el 8%. Por el contrario, dicho material parental presenta un contenido de esmectitas muy elevado, en torno al 75%, al contrario que el resto del perfil, donde los valores son bajos o muy bajos: en el tramo de 0 a 60 cm solo se aprecian trazas de estas; de 60 a 190 cm se identifican porcentajes más altos, entre 24 y

Tabla 2: Caracterización granulométrica y coeficiente de modificación eólica.

Table 2: Distribution particule size and eolic modification coefficient.

Prof. (cm)	Arenas (mm)					Totales (%)	Limos (L%)	Arcillas (A%)	Finos (L+A) (%)	Coef. modif. eólica
	2-1.0	1-0,5	0,5-0,25	0,25- 0,125	0,125- 0,063					
0-10	0,66	1,32	3,51	83,26	11,22	76,80	5,70	17,5	23,20	7,42
10-20	0,70	1,62	3,25	58,98	35,43	71,35	8,65	20,0	28,65	1,66
20-30	0,59	2,05	3,18	57,54	36,61	76,10	1,40	22,5	23,90	1,57
30-40	0,93	1,79	3,06	50,56	43,63	76,05	1,45	22,5	23,95	1,15
40-50	1,05	1,94	3,08	64,46	29,40	81,35	3,65	15,0	18,65	2,19
50-60	1,27	1,34	2,05	73,90	21,40	83,65	0	20,0	20,00	3,45
60-80	0	0	0,14	73,50	26,27	72,25	7,75	20,0	27,75	2,79
80-100	0	0,06	0,27	60,04	39,60	73,85	8,65	17,5	26,15	1,51
100-120	0	0	1,23	65,73	33,03	76,60	5,90	17,5	23,40	1,99
120-140	0	0	0,98	49,14	49,86	77,90	9,60	12,5	22,21	0,99
140-160	0	0,06	0,18	41,61	57,85	80,35	7,15	12,5	19,65	0,70
160-190	0	0	0,19	40,01	59,79	79,65	7,85	12,5	20,35	0,67
190-210	0	0	0,12	61,73	38,14	79,80	7,70	12,5	20,20	1,61
210-230	0	0	0,07	23,86	66,05	69,50	15,50	15,0	30,50	0,36
230-250	0	0	0,94	41,68	57,29	74,35	13,15	12,5	25,65	0,72
250-270	0,65	1,97	2,56	34,36	64,97	76,45	11,05	12,5	23,55	0,52
270-290	0	0	0,32	52,93	46,70	78,45	9,05	12,5	21,55	1,13
290-300	0	0	0,52	21,05	77,96	81,60	-	-	18,40	0,27

48%, y, por último, entre 190-230 cm se reconoce un nuevo incremento de la presencia de estas esmectitas, aunque con valores muy bajos (de 9 a 15%). Las ilitas, finalmente, muestran valores más o menos homogéneos a lo largo de todo el perfil, siendo más bajos en el material parental (17%), que en el resto del perfil, en el que predominan valores comprendidos entre 19 y 29%.

Los datos obtenidos muestran que la edafogénesis del Plioceno Superior que afecta al perfil de El Calvario exhibe, a nivel de detalle, una mayor complejidad que la descrita e interpretada por Viguié (1974). El análisis de los parámetros físico-químicos y mineralógicos llevados a cabo así lo confirman. Desde el punto de vista sedimentario se identifican tres partes dentro del perfil. Promediando, de 0 a 60 cm, resalta un nivel de color pardo-rojizo (10YR 5/6 a 7/8 en seco), con parámetros

que indican una ligera acidez, ausencia de salinidad y restos de carbono orgánico hasta 50 cm. Texturalmente presenta gravillas y gravas redondeadas de cuarcita englobadas en una matriz de arenas fina dominante, pero con presencia de arenas muy gruesas, gruesas y medias hasta 60 cm. Los valores de susceptibilidad magnética son los más elevados del perfil (135 a 55 $\times 10^{-9}$ m³/Kg), mientras que, desde el punto de vista de la mineralogía de arcillas, dominan los valores altos de caolinitas (76-81%) que contrastan con las trazas de esmectitas (Fig. 3).

Por su parte, la base del perfil (desde 60 a 290 cm de profundidad) presenta un color dominado por la rubefacción (de 7,5YR a 2,5YR en húmedo), ligeramente ácido, únicamente salino a 140-160 cm, sin carbono orgánico, excepto entre 120-160 cm, y media-baja proporción de carbonatos (30% a 5%). En la matriz arenosa

dominan las arenas finas y muy finas, estando ausentes las arenas muy gruesas y gruesas, y muy poco representadas las arenas medias (<1,23%). Completan las características de este tramo del perfil valores bajos de susceptibilidad magnética (de 15 a 30 x10⁻⁹ m³/Kg) y una mineralogía de arcillas con valores medios de caolinitas (31,65%) y presencia significativa de esmectitas (valor máximo de 48%). Por último, el material parental (>290 cm) presenta un color amarillento (10YR 5/6 en húmedo), sin carbonatos, con una matriz de arena muy fina (77,96%) y ausencia de las fracciones muy gruesas y gruesas. La cantidad de material fino (limos y arcillas) es baja (18,40%), mientras que, desde el punto de vista mineralógico, la proporción de esmectitas es muy alta (75%), y muy baja la de caolinitas (8%).

Desde el punto de vista edafológico se diferencian tres fases en el perfil (Fig. 3). La parte superior (de 0 a 130 cm de profundidad), correspondiente al bloque sedimentario y el techo del segundo bloque, está afectado por procesos edafogenéticos conducentes a la formación de un Luvisol crómico (FAO, 2015), con procesos de lavado de arcillas esmectíticas de los horizontes superiores (0-100 cm) y formación de un horizonte Bt iluvial a 100-120 cm (17,5% de arcillas), estructura macroprismática y máxima acumulación de esmectitas (48%), formada a expensas del cambio textural y discordancia existente (Fig. 4). Por debajo de este horizonte iluvial aparece otro con predominio de carbono orgánico (0,39-0,16%), que da paso a un paleohorizonte B (120-160) con esmectitas (28%). Y, finalmente, la base del perfil 250-290 está representada por un nivel muy rubefactado (2,5YR), ácido, con muy bajo porcentaje de carbono (<2%) y de esmectitas (15%), manteniéndose la presencia de caolinitas (Acrisol crómico FAO, 2015) y que invita a plantear la existencia de una nueva discordancia (Fig. 4).

4. Discusión

El perfil analizado presenta una gran homogeneidad morfológica que, sin embargo, no

se corresponden con la complejidad que evidencian los datos analíticos. En este sentido, la presencia del intenso croma rojo en el perfil frente al color amarillento del material parental que lo origina, así como el predominio de caolinitas (31 a 81%), en contraste con los muy bajos porcentajes de éstas en el material parental (8%), confirman la presencia del episodio edafogenético cálido-húmedo que ya adelantara Viguié (1974) afectando al Plioceno Medio de El Aljarafe puesto de manifiesto por la similar presencia mayoritaria de caolinitas (79-84%), junto a montmorillonitas (7-10%) e illitas (9-16%) como minerales acompañantes en la fracción arcilla (28-33%) en los 50 cm del paleosuelo estudiado, apoyado por otras muestras en las que la S1 tomada a los 200 cm de profundidad aparece igualmente con niveles de caolinitas (un 85%) junto a un 4% de arcillas interestratificadas, si bien la presencia de gravillas a 100 y 200 cm de profundidad descritas por Viguié (1974) no han sido detectadas en el perfil estudiado (Fig. 5, Tabla 3).

Desde el punto de vista geomorfológico el perfil se correspondería con una alteración relicta heredada, identificable en el paisaje (Battiau-Queney, 1996) y similar a los paleosuelos relictos de la Formación Arenas de Bonares del Plioceno Inferior-Pleistoceno de Pendón y Mayoral (1986) y Fernández-Caliani y Cantano (2010). La mayor evidencia de la existencia de esta alteración la aporta la presencia de gravas y gravillas redondeadas de cuarcita junto a las arenas muy gruesas, gruesas y medias identificadas en los 60 cm superiores del perfil. Estas gravas y gravillas, inexistentes en el material parental, no aparecen tampoco en el resto de niveles, por lo que la parte superior del mismo puede haberse conformado como un sedimento alóctono del zócalo Hespérico de Sierra Morena. Dicho nivel puede interpretarse como el retrabajamiento de una formación correlativa de un piedemonte de Sierra Morena, que conectaba el Macizo Hespérico con la parte culminante de la plataforma de El Aljarafe, a través de una superficie desarrollada sobre la depresión ubicada al norte de esta plataforma, co-

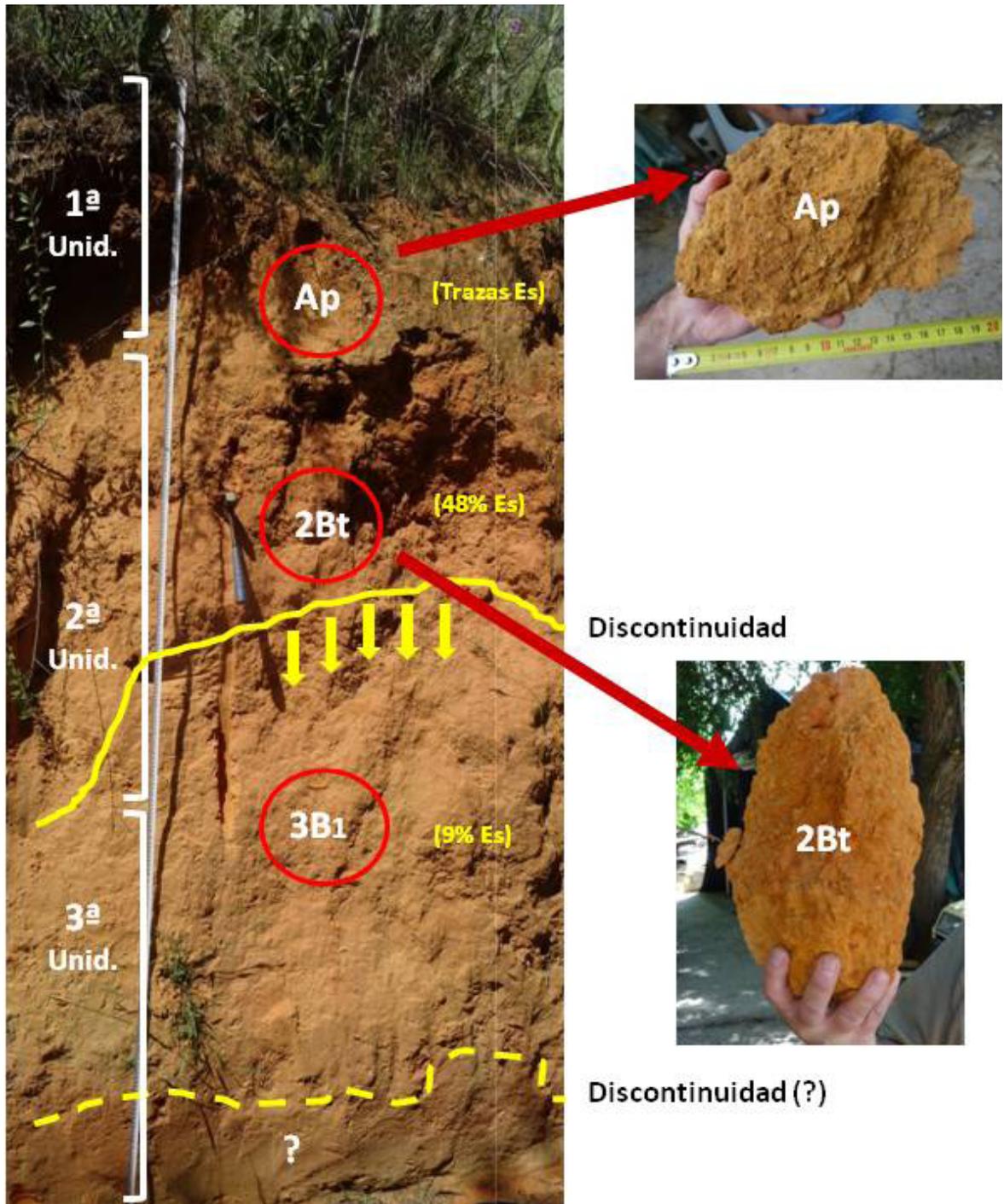


Figura 4: Unidades sedimentarias, morfología, secuencias de horizontes e iluviación de arcillas esmectíticas (Es).

Figure 4: Sedimentary units, morphology, horizon sequences and illuvial smectite clays (Es).

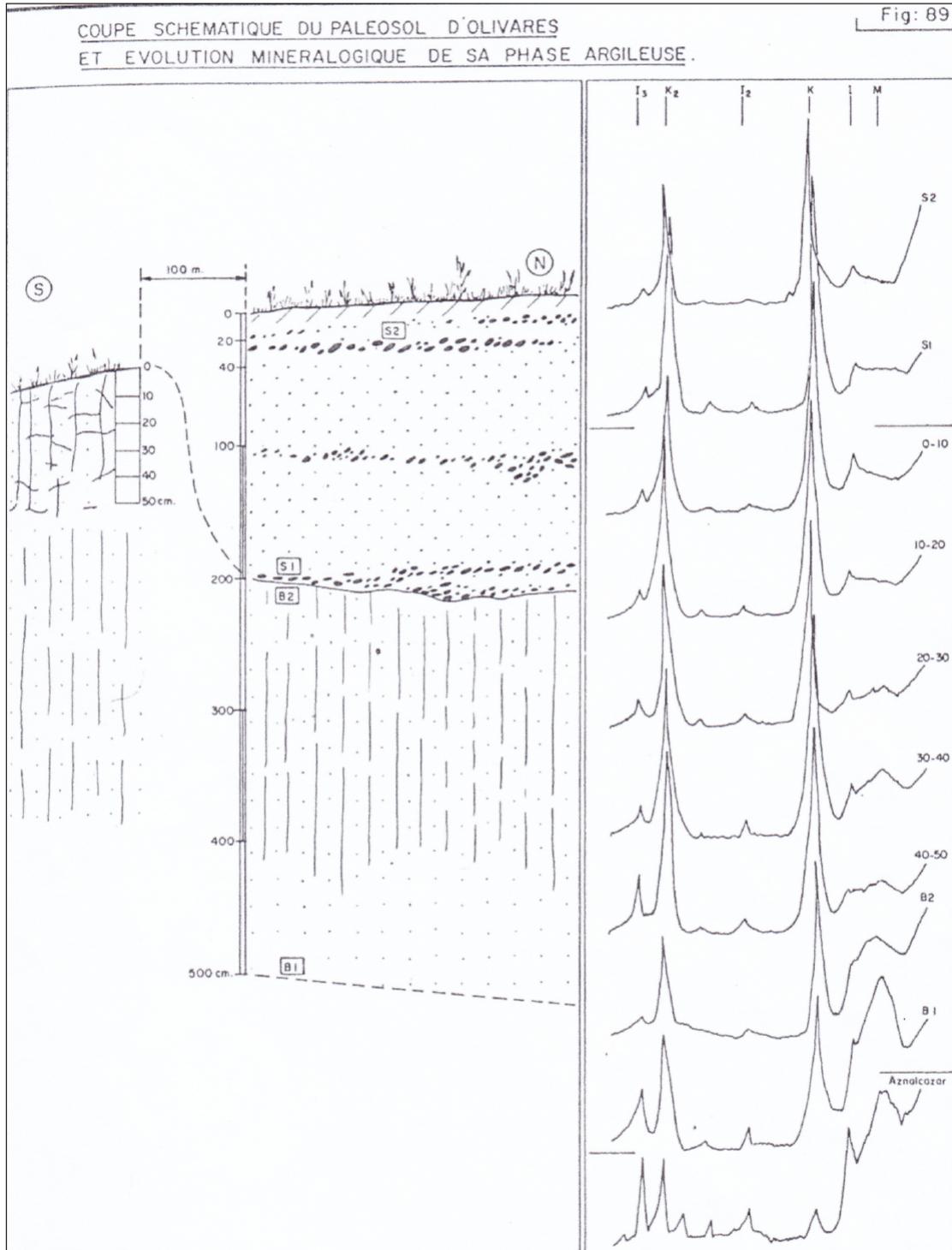


Figura 5: Perfil del paleosuelo de El Calvario de Olivares (Sevilla): difractogramas de R-X de la fracción arcilla (S1, S2, B1 y B2 localización de muestras de Viguier, 1974, Fig. 89).

Figure 5: El Calvario (Olivares, Seville) paleosol profile: R-X diffractograms of clay fraction (S1, S2, B1 y B2 Viguier, 1974, samples location, Fig. 89).

Tabla 3: Tabla 3: La fracción arcillosa del paleosuelo de Olivares. (Interstr.: interestratificados; M: montmorillonita; I: illita; K: caolinita; S1, S2, B1 y B2 localización de muestras de Viguier, 1974, Fig. 89)

Table 3: Table 3: Clay fraction of the Olivares paleosol. (Interstr.: interestratificaded; M: montmorillonite; I: illite; K: kaolinite; S1, S2, B1 y B2 Viguier, 1974 samples location, Fig. 89).

Prof.	Arcillas (%)	M	Porcentaje minerales arcillosos		
			Interstr.	I	K
S. 2	26		05	12	83
S. 1	28		04	11	85
Paleosuelo					
0 - 10 cm	33			16	84
10 - 20 cm	27		08	12	80
20 - 30 cm	32	07		09	84
30 - 40 cm	30	12		09	79
40 - 50 cm	28	10		10	80
B. 2	24,5	20		15	65
B. 1	05	34		22	44

nocida, hoy día, con el topónimo de El Campo (Drain *et al.*, 1971), y actualmente desmantelada (Díaz del Olmo, 1983). Como formaciones de *piémont* del Plioceno también interpretaron Viguier y Thibault (1973) las formaciones de gravas del sector occidental onubense, y el mismo Viguier (1974) las arenas gruesas y conglomerados del Pleistoceno sobrepuestas al paleosuelo relicto de las Arenas de Bonares (Pendón y Rodríguez Vidal, 1986).

Los resultados obtenidos ponen de manifiesto la existencia de un nítido contraste textural en la vertical del perfil, que, junto a la presencia de materia orgánica en profundidad, los movimientos de las arcillas, así como, los intensos cromas pardo-rojizos fruto de una alteración bajo condiciones climáticas de tipo mediterráneo, apuntan hacia la imbricación de diferentes procesos geomorfo-edáficos desarrollados durante la larga evolución del perfil (Phillips, 2004), acompañada de la existencia de un cambio ambiental desde condiciones subtropicales pliocenas a otras cuaternarias de características mediterráneas.

Este cambio hacia unas condiciones predominantemente de tipo xéricas vendría apoyado por la incorporación de carbonatos así como por claros procesos de selección eólica en los niveles superficiales del perfil, los cuales se pueden vincular con la existencia de condiciones rhexistáticas, plasmadas en una desaparición de la vegetación o acciones de deforestación, cuestiones ambas, ligadas tanto a la existencia de cambios en las condiciones climáticas, como a un aumento de la presión antrópica ejercida sobre el territorio.

En este sentido, el coeficiente eólico calculado pone de manifiesto la modificación eólica del reparto de fracciones del material parental de partida de las arenas finas frente a las muy finas. Esta distribución hace compartimentar en tres cuerpos sedimentarios el perfil: uno conformado por el más superficial, con gravas y procesos eólicos (0-60 cm), un segundo cuerpo arenoso y eólico hasta los 120 cm, y un tercero, que vendría a coincidir con los niveles más inferiores a partir de estos 120 cm, también arenoso, no modificado por la acción

eólica, dominado por una intensa rubefacción probablemente producto de una alteración antigua ácida, de tipo tropical.

Por otro lado, según De Torres *et al.* (1975) la litología correspondiente a este material parental sobre el que se labra el perfil de El Calvario estaría constituida a base de limos arenosos de color rojizo. Sin embargo, los datos analíticos obtenidos de dicho material parental revelan unos materiales de color muy amarillento (10YR7/6; 5/6), donde la fracción muy fina de las arenas (0,125-0,063 mm \emptyset) vendría a representar el 77,96 %, mientras que los finos (limos + arcillas) tan solo el 14,8 % (Tabla 2), tratándose por tanto de un paquete de arenas limosas, no seleccionadas eólicamente, descarbonatadas y con alta presencia de arcillas esmectíticas y bajos en caolinitas.

5. Conclusiones

El perfil de El Calvario analizado por Viguier en los años setenta del pasado siglo ha constituido la referencia para el estudio del tránsito Plio-Pleistoceno en la cuenca del Guadalquivir durante los últimos cuarenta años. La revisión llevada a cabo en el presente trabajo muestra que, a pesar de la gran uniformidad morfológica que en campo presenta el perfil estudiado, los nuevos datos físico-químicos obtenidos revelan la existencia de un perfil complejo conformado a base de varias fases edafo-sedimentarias y altero-edafo-lógicas relacionadas con condiciones ambientales diferenciadas. El análisis realizado muestra que sobre un material de partida de naturaleza esmectítica y textura arenosa-fina y afectado por una intensa rubefacción, así como, por procesos de caolinización (acrisolización), se le superpone un nivel de carácter iluvial controlado por los cambios texturales existentes (iluviación), separados ambos por una clara discontinuidad, avalada por la presencia de carbono en profundidad. La incorporación de carbonatos y la acción modificadora del viento pondrían de manifiesto la existencia de una fase de condiciones xéricas, responsable de la configuración de las características

físico-químicas actuales del perfil. La secuencia propuesta para el perfil de El Clavario presenta una notable correlación con las condiciones descritas por Viguier (1974) y con las alteraciones que afectan al Plioceno de la cuenca del Guadalquivir, así como, con las antiguas formaciones de piedemonte descritas por diferentes autores tal como se ha visto en el apartado de discusión.

Agradecimientos

Grupos de Investigación PAIDI RMM-273 Cuaternario y Geomorfología y RNM-364 MED_Soil.

Bibliografía

- Battiau-Queney, Y. (1996). A tentative classification of paleowathering formations based on geomorphological criteria. *Geomorphology*, 16: 87-102. [https://doi.org/10.1016/0169-555X\(95\)00087-L](https://doi.org/10.1016/0169-555X(95)00087-L)
- Brindley, C.W.; Brown, C. (1980). *Crystal structures of clay minerals and their X-ray identification*. Mineralogical Society, London, 495 pp. <https://doi.org/10.1180/mono-5>
- Civis, J.; Sierro, F. J.; González Delgado, J. A.; Flores, J. A.; Andrés, I.; Porta, J.; Valle, M. (1987). El Neógeno marino de la provincia de Huelva: antecedentes, y definición de las unidades litoestratigráficas. En: J. Civis (Ed.), *Paleontología del Neógeno de Huelva*. Ediciones de la Universidad de Salamanca, Salamanca, pp. 9-21.
- Dearing, J.A. (1999). *Environmental magnetic susceptibility using the Bartington MS2 system*. British Library Cataloguing in Publication Data. United Kingdom. 54 pp.
- De Torres, T., Martínez, C., Del Pan, T., Leyva, F., Antón, S. (1975). Mapa Geológico de España a escala 1:50.000, 2ª Serie (MAGNA), Sevilla (1984). IGME. Serv. Pub. Mª Industria, Madrid.
- Díaz del Olmo, F. (1983). Sierra Morena. Nuevas consideraciones en sus interpretaciones de Geomorfología y Geología Regional. *Revista Estudios Andaluces*, 1:35-42. <https://doi.org/10.12795/rea.1983.i01.03>
- Díaz del Olmo, F., Recio Espejo, J.M., Borja Barrera, C., Cámara Artigas, R., Borja Barrera F. (2010). Nuevas aportaciones a la caracteriza-

- ción geomorfológica del Manto Eólico Litoral de El Abalarío-Doñana: el perfil de la laguna Río Loro (Huelva, España). *Geogaceta*, 48:3-6.
- Drain, M.; Lhénaff, R.; Vanney, J.R. (1971). *Le bas Guadalquivir*. Publicaciones de la Casa de Velázquez. París, 124 pp.
- Duchaufour, Ph. (1975). *Edafología*. Ed. Toray-Masson (Barcelona) 476 pp.
- FAO (1977). *Guía para la descripción de perfiles de suelos*. FAO, Roma.
- FAO (2015). *World reference base for soil resource 2014. International soil classification system for naming soils creating legends for soil maps*. FAO, Roma, 193 pp.
- Fernández-Caliani, J.C.; Cantano, M. (2010). Intense kaolinitization during a lateritic weathering event in South-West Spain. Mineralogical and geochemical inferences from a relictic paleosol. *Catena*, 80: 23-33. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2009.08.005>
- Gutián, F.; Carballás, T. (1976). *Técnicas de análisis de suelos*. Edit. Pico-Sacro. Santiago, 288 pp.
- MAPA (1986). *Métodos de análisis del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación*. Public. Secretaría General Técnica. Madrid, 343 pp.
- Mayoral Alfaro, E.J. (1989). Geología de la depresión inferior del Guadalquivir. El Cuaternario en Andalucía Occidental, AEQUA Monografías, 1: 7-20.
- Mayoral, E.; González, I. (1987). Contribución al estudio de las facies de tránsito (Mioceno-Plioceno) en el sector noroccidental de la Cuenca del Guadalquivir (Valencina de la Concepción, Sevilla). *Acta Geológica Hispánica*, 21-22: 177-184.
- Montealegre, L. (1976). *Mineralogía de sedimentos y suelos de la Depresión del Guadalquivir*. Tesis doctoral. Universidad de Granada. Doc. Inéd., 600 pp.
- Munsell, C. (1990). *Munsell soil color charts*. Koll Morgen Instrument Corporation. Maryland (EE.UU).
- Núñez Granados, M.A.; Díaz del Olmo, F.; Recio Espejo, J.M. (1999). Alteraciones caolínicas sobre rocas plutónicas en Sierra Morena Occidental (Sierra de Aracena, Huelva). *Geogaceta*, 25,1: 151-154.
- Núñez Granados, M.A.; Recio Espejo, J.M. (2007). Kaolinitic paleosols in the south west of the Iberian Peninsula (Sierra Morena region). Paleoenvironmental implications. *Catena*, 70: 383-395. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2006.11.004>
- Pendón, J.G.; Mayoral, E. (1986). Icnofacies y sedimentación en zona costera. Plioceno superior (?), litoral de Huelva. *Acta Geol. Hisp.* 21-22, nº 2, 507-514.
- Pendón, J.G.; Rodríguez Vidal, J. (1986-87). Caracteres sedimentológicos y geomorfológicos del Alto Nivel Aluvial en el litoral de Huelva. *Acta Geol. Hisp.* 21-22: 107-111.
- Phillips, J.D. (2004). Geogenesis, pedogenesis and multiple causality in the formation of texture-contrast soils. *Catena*, 58: 275-295. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2004.04.002>
- Recio, J.M., Cano, M.D., Baena, R., Rodríguez, J., Díaz del Olmo, F. (1993). Rañas y facies de piedemonte en el borde meridional del macizo Hespérico (Sierra Morena). *La Raña en España y Portugal*, Monografías del CCM, 2: 3-13.
- Sierro, F. J.; González-Delgado, A.; Dabrio, C. J.; Flores, A.; Civis, J. (1996). Late Neogene depositional sequences in the foreland basin of Guadalquivir (SW Spain). En: P.F. Friend y C.J. Dabrio (Eds.), *Tertiary Basins of Spain*. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 339-345. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511524851.048>
- Sims J. R.; Haby V.A. (1971). Simplified colorimetric determination of soil organic matter. *Soil Science*, CXII: 137-41. <https://doi.org/10.1097/00010694-197108000-00007>
- Soils Survey England and Wales (1982). *Soil Survey laboratory methods*. Technical monographs nº6. Harpenden (England), 83 pp.
- USDA (1973). *Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos*. Limusa. México 172 pp.
- Viguié, C. (1974). Le Néogène de l'Andalousie Nord-Occidentale (Espagne): histoire géologique du Bassin du Guadalquivir. Thèse d'Etat, Univ. Bordeaux, 450 pp.
- Viguié, C.; Thibault, C. (1973). Nouveaux éléments de datation des formations de Piemont de la Sierra Morena à l'ouest de Sevilla. *Estudios Geológicos*, 29: 351-356.

Recibido el 18 de junio de 2020

Aceptado el 20 de noviembre de 2020