

CARACTERIZACIÓN ALTITUDINAL DE LAS PRINCIPALES PROPIEDADES DE LOS SUELOS FORESTALES EN EL PARQUE NATURAL DE LA FONT ROJA

Martínez Giménez D.¹, Molina Donate, M.J.², Bellot Abad, J.³, Bonet Jornet, A.⁴

¹ Estación Científica Font Roja Natura UA. Vicerrectorado de Investigación, Desarrollo e Innovación. Departamento de Ecología. Universidad de Alicante. Correo electrónico: delfina.martinez@ua.es

² Centro de Investigaciones sobre Desertificación-CIDE (CSIC-UV-GV). Moncada, Valencia. Correo electrónico: maria.j.molina@uv.es

³ IMEM Ramón Margalef, Departamento de Ecología. Universidad de Alicante. Correo electrónico: juan.bellot@ua.es

⁴ Estación Científica Font Roja Natura UA. Vicerrectorado de Investigación, Desarrollo e Innovación. Departamento de Ecología, IMEM Ramón Margalef. Universidad de Alicante. Correo electrónico: andreu@ua.es

Resumen. En el Parque Natural de la Font Roja se han elaborado muy pocos estudios que se centren en el análisis y descripción de sus suelos forestales. Este trabajo analiza las características generales de los suelos desarrollados sobre materiales calizos en la vertiente norte del Carrascal de la Font Roja. Para ello, se ha realizado una caracterización morfológica y físico-química del suelo superficial (20 cm) en 4 parcelas de estudio distribuidas en un gradiente altitudinal (1.300-1.000 msnm). Dichas parcelas se enclavan en dos unidades ambientales de gran valor y riqueza ecológica dentro del bosque mediterráneo, como son el bosque de caducifolios y el carrascal cerrado de umbría. Las características edáficas que muestran mayor relación con la altitud son el contenido de carbonatos (CaCO_3) y el tamaño de los fragmentos rocosos superficiales. La información generada en este estudio se integrará en una base de datos que puede contribuir a la gestión y toma de decisiones de los gestores del Parque.

Palabras claves. suelos forestales, gradiente altitudinal, análisis físico-químico, características edáficas.

Resum. Al Parc Natural de la Font Roja s'han elaborat molt pocs estudis que se centren en l'anàlisi i descripció dels sòls forestals. Aquest treball analitza les característiques generals dels sòls desenvolupats sobre materials calcaris al vessant nord del Carrascal de la Font Roja. Per això, s'ha realitzat una caracterització morfològica i fisicoquímica del sòl superficial (20 cm) en 4 parcel·les d'estudi distribuïdes en un gradient altitudinal (1.300-1.000 msnm). Aquestes parcel·les s'enclaven en dues unitats ambientals de gran valor i riquesa ecològica dins del bosc mediterrani, com són el bosc de caducifolis i el Carrascal tancat d'ombria. Les característiques edàfiques que mostren major relació amb l'altitud són el contingut de carbonats (CaCO_3) i la dimensió dels fragments rocosos superficiales. La informació generada en aquest estudi s'integrarà en una base de dades que pot contribuir en la gestió i presa de decisions dels gestors del Parc.

Paraules claus. sòls forestals, gradient altitudinal, anàlisi fisicoquímica, característiques edàfiques.

Summary. In the Natural Park of the Font Roja few studies have been elaborated that focus on the analysis and description of its forest soils. This work analyzes the main characteristics of soils developed on limestone materials in the northern slope in the Carrascal de la Font Roja. For this purpose, a morphological and physicochemical characterization of the surface soil (20 cm) was carried out in 4 study plots distributed in an altitudinal gradient (.1300-1.000 msnm). These plots are located in two environmental units of great value and ecological richness within the Mediterranean forest, such as the deciduous forest and the holm oaks. The edaphic characteristics that show greater relation with the altitude are the carbonate content (CaCO_3) and the size of the surface rock fragments. The information generated in this study will be integrated in a database that can contribute to the management and decision-making of Park managers.

Key words. forest soils, altitudinal gradient, physical-chemical analysis, edaphic characteristics.

INTRODUCCIÓN

En estos últimos años se ha producido un incremento en el interés de los estudios del suelo debido a su capacidad de secuestro de carbono atmosférico y su fijación en los ecosistemas terrestres. Por este motivo, los suelos están entre los mayores sumideros de carbono del planeta y podrían ayudar a mitigar los efectos del cambio climático por su contribución a disminuir las tasas de CO₂ atmosférico, siempre y cuando, se fomenten estrategias de gestión ambiental que desarrollen el potencial de los suelos para capturar carbono (FAO, 2002). Por consiguiente, la conservación de los suelos forestales es fundamental, ya que cambios en el uso y el manejo de estos suelos, principalmente, pueden provocar la liberación a la atmósfera del carbono fijado durante largos períodos de tiempo. Se deben establecer y poner en práctica medidas de conservación y protección de los suelos forestales frente a los procesos de degradación que afectan a la dinámica del carbono de los ecosistemas terrestres forestales como son los incendios, la deforestación, la agricultura intensiva y el sobrepastoreo (Edith et al., 2014). Recientes estudios se centran en comprender e identificar los factores ambientales que tienen una mayor contribución en los procesos de secuestro de carbono a partir de modelos predictivos, y se ha podido concluir que los factores más influyentes en los suelos europeos son el clima, el pH del suelo, el contenido de fragmentos gruesos y la cobertura vegetal (Rial et al., 2017).

En el Parque Natural de la Font Roja (PNFR) se han realizado escasos estudios que se focalicen en la descripción y caracterización de los suelos forestales presentes en las diversas unidades ambientales o hábitats que componen el Parque. Del mismo modo que podemos observar una estratificación o secuenciación altitudinal en las comunidades vegetales (pinar – carrascal de umbría – bosque caducifolio – matorral culminal) en la vertiente norte del P.N.F.R. (Terrones et al. 2006),

los suelos también sufren modificaciones por la interacción directa de la vegetación y el microclima. Las comunidades vegetales pueden alterar gradualmente las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos a través de los exudados de las raíces o los aportes constantes de biomasa, variando la cantidad y composición de estos restos vegetales (hojarasca) en función de la especie predominante en el área. Asimismo, el suelo es el soporte físico (biotopo) en los hábitats terrestres y posee unas características intrínsecas que permiten el desarrollo de una vegetación potencial. Además, en el suelo se producen tanto los procesos de descomposición de la materia orgánica y recirculación de los nutrientes, como los de intercambio de iones y almacenamiento del agua, ambas funciones imprescindibles para el crecimiento y desarrollo de la vegetación.

En consecuencia, este estudio se aborda como una primera aproximación en la descripción de las propiedades físico-químicas de los suelos forestales acorde a un gradiente altitudinal (1.300-1.000 msnm) en el PNFR. Y acorde a la secuenciación altitudinal de las comunidades vegetales presentes en la vertiente norte, este estudio edáfico se ha realizado dentro de dos hábitats con importante riqueza y valor ecológico dentro del bosque mediterráneo, como son el bosque de caducifolios y el carrascal cerrado de umbría.

El presente estudio pretende contribuir a la generación de conocimiento básico frente a las escasas investigaciones en el Parque dentro de este campo de estudio, y la información generada se integrará en una base de datos que puede contribuir a la gestión y toma de decisiones en la conservación de los espacios naturales. Dicha base de datos debe continuar implementándose con estudios más amplios, detallados y exhaustivos, que ayuden a comprender mejor los procesos edáficos predominantes en cada hábitat y establecer qué factores intervienen en la interacción agua – sue-

lo – planta para fijar estrategias de actuación ante posibles cambios en la sucesión de comunidades

vegetales como consecuencia del cambio climático.

MATERIALES Y MÉTODOS

DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

Este estudio se enmarca dentro del Parque Natural de la Font Roja (PNFR) con una superficie de 2.298 ha según los límites del Plan Rector de Uso y Gestión (PRUG), y concretamente se ubica en la vertiente norte del Carrascal de la Font Roja, cuya cota máxima es el pico del Menejador con una altura de 1.356 msnm.

El clima característico del PNFR es el mediterráneo, pero el pico del Menejador divide la sierra en dos vertientes fuertemente diferenciadas debido su orientación Este – Oeste, la vertiente norte o de umbría y la vertiente sur o de solana. En la vertiente norte predomina un clima continental caracterizado por inviernos fríos y veranos secos que coinciden con julio y agosto, y en la vertiente sur predomina un clima seco, con precipitaciones escasas por situarse a sotavento de los vientos húmedos.

Para llevar a cabo este estudio se seleccionaron 4 parcelas con vegetación natural (Menejador, Mirador de Pilatos, Pla de la Mina y Vivero) de la vertiente norte o umbría, en un gradiente altitudinal con aproximadamente 100 m de diferencia de cota entre cada parcela. Además, la vegetación también muestra una secuenciación de comunidades vegetales acorde a este gradiente altitudinal. En estas parcelas se han realizado estudios previos referentes al seguimiento de producción primaria (hojarasca) y análisis de desfronde del bosque mediterráneo con datos recopilados desde 2010 (Salas, 2017 y Gómez, 2016). En las parcelas ubicadas en las cotas más altas, como Menejador y Mirador de Pilatos, domina el bosque de caducifolios con especies tan representativas como el quejigo (*Quercus faginea* Lam.), el fresno de flor (*Fraxinus ornus* L.) y el arce (*Acer opalus* ssp. *granatense* Boiss.) entre otros. Por otro lado,

las parcelas localizadas entre los 1100 – 1000 m (Pla de la Mina y Vivero) se caracterizan por la dominancia de la carrasca (*Quercus rotundifolia* L.) junto con la hiedra (*Hedera helix* L.), la madreleiva (*Lonicera implexa* Aiton) y el durillo (*Viburnum Tinus* L.) como especies más comunes en el sotobosque (Terrones et al., 2006). Singularmente, la parcela del Pla de la Mina tiene una estructura vegetal mixta propiciada por su pasado uso tradicional antrópico, en ella podemos encontrar formaciones de *Q. rotundifolia* tanto con porte arbóreo abierto de baja talla, como de porte arbustivo arborescente, principalmente rebrotes, como resultado del aprovechamiento de las carrascas para la producción de carbón vegetal hasta mediados del siglo XX. De igual modo, podemos encontrar restos de aprovechamiento mineral (horno de cal) en la misma zona.

Estas dos unidades ambientales representan los hábitats de mayor importancia ecológica del Parque (Ballester y Stübing, 1990). En la Tabla 1 se especifica la localización geográfica de cada parcela mediante el sistema de coordenadas universal transversal de Mercator (coordenadas UTM) en el sistema geodésico de referencia ETRS89, su altitud y la comunidad vegetal dominante.



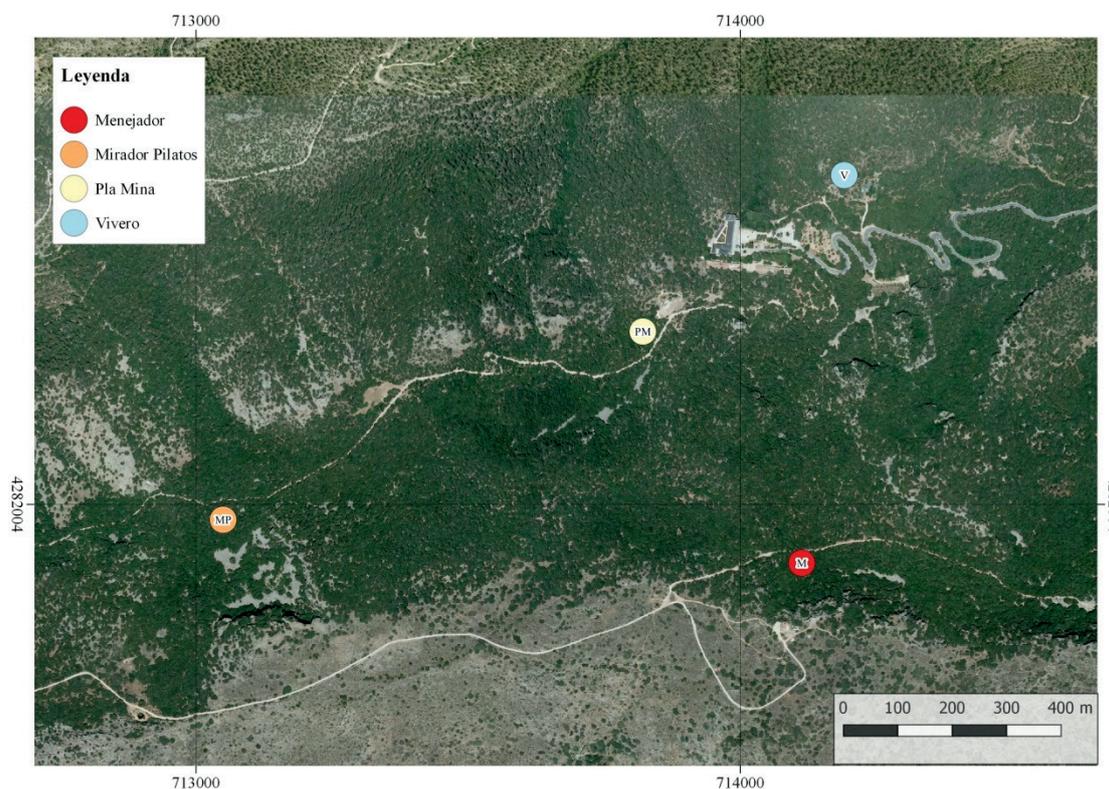
Detalle de bosque mediterráneo.

Tabla 1. Localización de las parcelas de estudio mediante coordenadas UTM, altitud y comunidad vegetal.

Parcela	UTM X	UTM Y	Huso	Altitud (m.s.n.m.)	Cubierta Vegetal
Menejador	714112	4281895	30N	1.287	Bosque caducifolio
Mirador Pilatos	713049	4281975	30N	1.183	Bosque caducifolio
Pla Mina	713820	4282323	30N	1.101	Carrascal Cerrado
Vivero	714191	4282612	30N	1.015	Carrascal Cerrado

A continuación, se observa el mapa (Figura 1) con la localización espacial de las parcelas de es-

tudio a partir de las coordenadas UTM (elaborado mediante QGIS).

**Figura 1.** Mapa de la localización de las parcelas de estudio.

DISEÑO EXPERIMENTAL

Para abordar este estudio sobre la influencia de la altitud en la evolución de diversas propiedades edáficas se ha realizado una caracterización morfológica y físico-química del suelo en cada

parcela. Las variables seleccionadas para realizar este estudio se muestran en la Tabla 2. En cada parcela se seleccionaron 3 puntos de muestreo al azar, y el suelo superficial se estudió a 2

profundidades (0 - 10 cm y 10 - 20 cm; Figura 2). Posteriormente, se realizó una descripción morfológica básica del tipo de horizonte muestreado a cada profundidad, distinguiéndose entre horizontes orgánicos (O) y minerales (Ah) de distinto desarrollo (FAO, 2009; ver Figura 2). Las muestras de suelo se tomaron aleatoriamente mediante una sonda edáfica, y en total se han analizado 24 muestras.

El análisis del suelo se ha realizado de acuerdo a métodos estándar (Juárez et al. 2004). Previamente, antes de llevar a cabo las determinaciones analíticas en el laboratorio, se realizó el acondicionamiento de las muestras. Este proceso de pretratamiento consistió en el secado a temperatura ambiente, el tamizado a 2 mm y el triturado de las muestras. Cada muestra se analizó por duplicado en el laboratorio, y por triplicado si el coeficiente de variación entre ambas muestras era mayor del

10%. La humedad higroscópica se determinó por diferencia de pesada tras desecación en estufa a 105°C durante 24 h. El pH (relación 1:2.5, p/v) y la conductividad eléctrica (C.E.) (relación 1:5, p/v) se determinaron en extracto acuoso. El porcentaje de carbonatos (CaCO₃) se obtuvo según la metodología del calcímetro de Bernard. El contenido de materia orgánica oxidable (Mat. Org.) se determinó acorde al método de Walkey-Black. La pendiente (Pend.) se obtuvo con un clinómetro en campo y el tamaño de la pedregosidad superficial (Cantos sup.) se determinó mediante una estimación visual en campo. En último lugar, la densidad aparente (Dens. Ap.) se determinó tomando muestras de suelo inalterado utilizando un cilindro metálico de volumen conocido.

Los valores medios y las desviaciones estándar de las propiedades estudiadas para cada parcela se indican en la Tabla 2.

Tabla 2. Principales características físico-químicas de las parcelas de estudio.

Parcela	Hor*	Prof. muestra (cm)	pH (1:2.5)	C.E. (1:5) (dS/m)	CaCO ₃ (%)	Mat. Org. (%)	Pend. (°)	Cantos superf. (cm)	Dens. Ap. (g/cm ³)
Menejador	OAh ₁	0-10	6.9 ±0.6	0.25 ±0.03	2.2 ±1.8	20.2 ±3.2	23 ±1	31 ±4	0.47 ±0.15
	Ah ₂	10-20	7.7 ±0.2	0.16 ±0.04	2.1 ±1.7	5.0 ±2.0	-	-	-
Mirador Pilatos	OAh ₁	0-10	7.7 ±0.2	0.21 ±0.01	1.0 ±0.2	13.2 ±0.9	20 ±3	17 ±3	0.48 ±0.18
	Ah ₂	10-20	8.1 ±0.2	0.19 ±0.00	5.4 ±2.4	5.1 ±0.3	-	-	-
Pla Mina	OAh ₁	0-10	7.8 ±0.3	0.34 ±0.02	2.2 ±2.4	14.0 ±4.1	16 ±1	8 ±4	0.65 ±0.10
	Ah ₂	10-20	8.3 ±0.2	0.28 ±0.02	2.4 ±1.0	5.2 ±2.0	-	-	-
Vivero	O	0-10	8.0 ±0.1	0.29 ±0.06	33.6 ±3.3	32.4 ±7.4	21 ±2	15 ±5	0.49 ±0.10
	OAh ₁	10-20	8.1 ±0.1	0.24 ±0.04	54.5 ±8.4	15.1 ±5.3	-	-	-

* Horizontes; O: Orgánico; Ah: Mineral superficial enriquecido con material orgánico. Detalle de los horizontes en la Figura 2.



Figura 2. Detalle del suelo en cada parcela de estudio (1: Menejador, 2: Mirador de Pilatos, 3: Pla de la Mina, 4: Vivero; a) Muestra superficial: 0 - 10 cm y b) Muestra subsuperficial: 10 - 20 cm).

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS DATOS

El tratamiento estadístico de las propiedades edáficas se realizó mediante el programa SPSS. En primer lugar, se realizó la prueba de normalidad de los datos utilizando el contraste de Shapiro-Wilk ($n < 30$), y las variables que no pasaron dicha prueba de normalidad ($p > 0.05$) fueron transformadas para ajustarse a una distribución normal. Además, se contrastó la homogeneidad o la igualdad de las varianzas de las variables mediante la prueba de Levene.

Posteriormente, se realizó un análisis multivariante de la varianza (MANOVA) de dos factores y, de este modo, determinar la influencia de la ubicación altitudinal de la parcela y, además,

conocer la diferenciación de propiedades en los dos intervalos de muestreo. Se realizaron pruebas post hoc (Student-Newman-Keul) para comparar las medias para cada par de grupos en cada variable edáfica y, de este modo, determinar las diferencias significativas de los parámetros de suelo estudiados entre las parcelas.

Finalmente, se realizó un análisis de componentes principales (PCA) para agrupar las variables y determinar las correlaciones principales entre ellas. Y en último lugar, el estudio se completó realizando un análisis discriminante para establecer qué propiedades reflejan mayor contraste y diferenciación entre las parcelas de estudio.

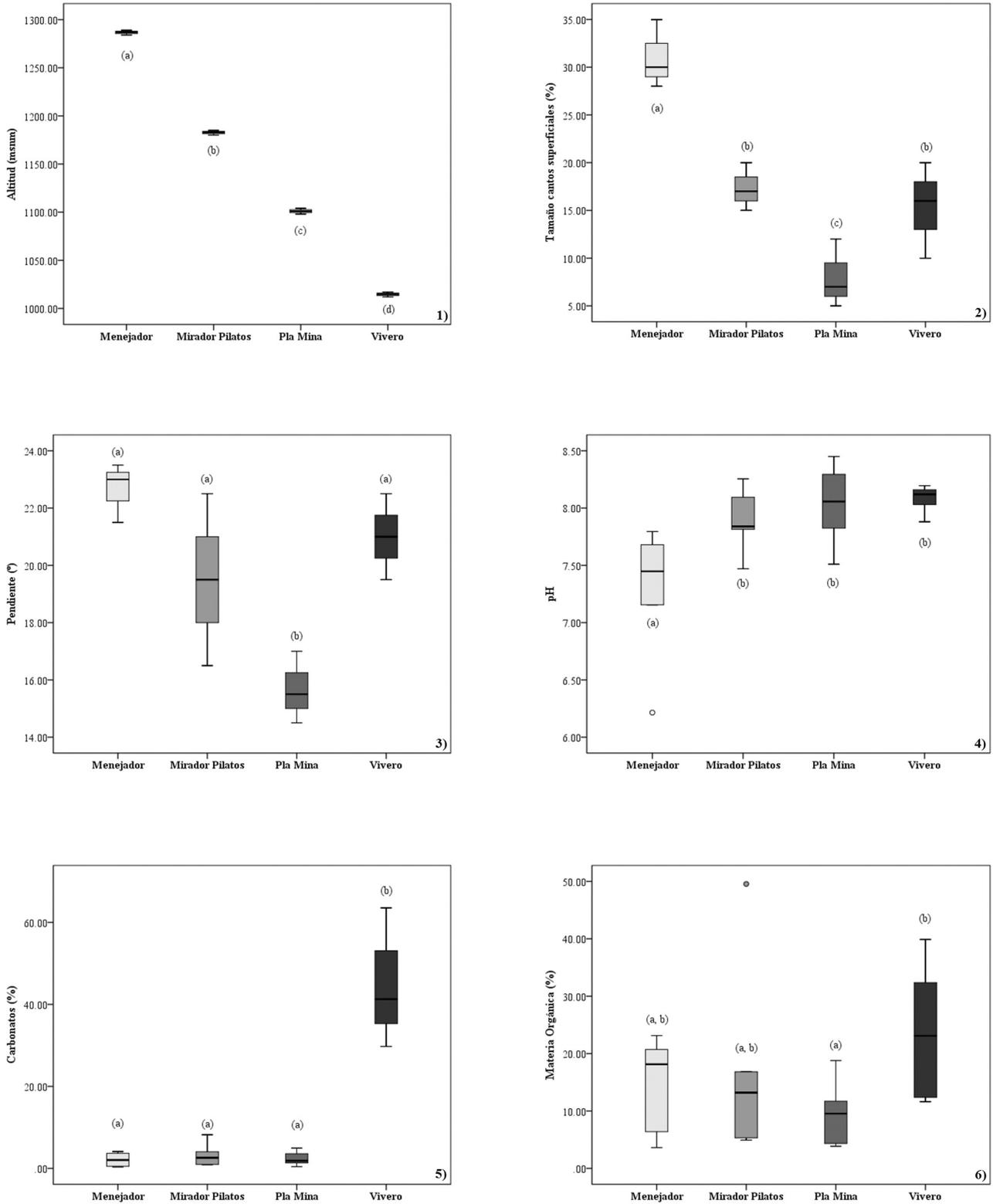
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos tras realizar un análisis multivariante de la varianza (MANOVA) de dos factores (altitud y profundidad) mostraron que respecto a la ubicación de la parcela (altitud) existen diferencias significativas ($p < 0.05$) en función del tamaño de los cantos superficiales, la pendiente, el pH, el contenido de carbonatos y de materia orgánica (Figura 3). Por consiguiente, las parcelas no evidenciaron diferencias espaciales en la densidad aparente y la conductividad eléctrica. Por otro lado, al realizar el análisis en función de la profundidad de las muestras, es decir, entre los horizontes superficiales (0-10 cm) y los subyacentes a ellos (10-20 cm), se observan diferencias significativas para todas las propiedades analizadas (pH, C.E., Mat. Org. y CaCO_3). Finalmente, no podemos evidenciar una interacción significativa conjunta entre ambos factores analizados, y por consiguiente, no existe una relación ligada entre la altitud de las parcelas y la profundidad del muestreo para ninguna de las variables analizadas. Por consiguiente, las diferencias entre el suelo de las parcelas a la profundidad de muestreo pueden depender de otras variables además de las estudiadas, como podría ser el tipo de vegetación y su grado de desarrollo o de alteración, o el tipo y la abundancia de microorganismos.

En la Figura 3.1 se muestra que existen diferencias significativas entre cada una de las parcelas de estudio en función de la altitud acorde al post hoc realizado. Referente al tamaño de la pedregosidad superficial se diferencian 3 grupos, siendo la parcela del Menejador la que tiene cantos superficiales de mayor dimensión y la del Pla de la Mina los fragmentos de menor diámetro (Figura 3.2). El Pla de la Mina es la única parcela que difiere significativamente del resto por su menor pendiente (Figura 3.3) y respecto al pH, el Menejador es la única parcela que muestra pH diferente, con los valores menos alcalinos y una tendencia hacia pH neutro (Figura 3.4). En

cuanto al contenido de carbonatos, la parcela de Vivero es significativamente diferente, con valores entorno al 40%, mientras que los valores en las demás parcelas son muy bajos (Figura 3.5). En último lugar, las parcelas se diferencian en 3 grupos en función de su contenido de materia orgánica, en general se observan valores elevados ya que se trata de horizontes orgánicos de suelos forestales, desarrollados a partir del aporte continuado de hojarasca y restos vegetales procedentes de la vegetación, principalmente de carrascas. Estos valores de materia orgánica son coherentes con los obtenidos en otros suelos forestales bajo cobertura de *Quercus ilex* como en Sierra Aitana, donde en el horizonte mineral superficial (A) se determinaron valores entorno al 22% (Chrenková et al., 2014), en el Parque Natural Sierras de Cazorla, Segura y Las Villas se han obtenido valores de materia orgánica del 22.5% (Rodà et al. 2009) o en la Sierra de Montseny (La Castanya) donde se ha estimado un contenido de materia orgánica del 16.5%, tras multiplicar el factor de conversión de 1.72 al contenido de % C orgánico reportado (Rodà et al., 1999). La parcela de Vivero muestra los valores más altos puesto que es la parcela con el horizonte orgánico (O) de mayor espesor (> 10 cm) (Figura 2), mientras que en el Pla de la Mina se obtuvieron los valores más bajos probablemente por tratarse de la parcela con mayor influencia antrópica por su uso tradicional para el aprovechamiento vegetal (carbón) y litológico (cal) (Figura 3.6). Para un mismo material de origen y tipo de vegetación, la altitud, a través de su influencia en las variables climáticas (temperatura, precipitación, EVTP) y la pendiente son factores fundamentales en la formación del suelo y diferenciación de sus propiedades en profundidad como se puede constatar en los estudios de suelo de zonas próximas a la estudiada (Rubio et al., 1995). Sin embargo, el contenido y tipo de nutrientes disponibles en el suelo puede depender de la interacción entre los anteriores, la vegetación y la comunidad microbiana.

Figura 3. Propiedades físicas y químicas significativamente ($p \leq 0.05$) diferentes entre las parcelas de estudio en función al MANOVA de dos factores (ubicación parcela y profundidad) realizado. Las Figuras representan las propiedades (1. Altitud, 2. Tamaño cantos superficiales, 3. Pendiente, 4. pH, 5. Carbonatos, 6. Materia orgánica) significativamente afectadas por la ubicación de la parcela (post hoc, Student-Newman-Keul).



Respecto al análisis de componentes principales (PCA) realizado sobre todas las propiedades físico-químicas se ha obtenido como resultado la agrupación de las variables en 3 componentes principales (Tabla 3). El conjunto de las 3 componentes explica el 88.3 % de la variabilidad de las muestras analizadas. La primera componente (PCA 1), compuesta por las variables más relevantes relacionadas con la altitud, explica el 32.8 % mientras que la PCA 2 explica el 30.7% de dicha variabilidad. Finalmente, la componente PCA 3 explica un 24.8 % de la varianza.

La PCA 1 está compuesta por la altitud, el pH y el contenido de carbonatos, y acorde a la Figura 4, las parcelas de estudio se agrupan de mayor a menor altitud en relación inversa al contenido de carbonatos y pH. Esto podría deberse a que en cotas más altas aumenta la precipitación y disminuye la evapotranspiración, lo que favorece el lavado de los carbonatos hacia horizontes más profundos en el perfil de suelo y, a escala de ladera, el lavado lateral de los carbonatos que posteriormente se acumulan en cotas más bajas donde la pendiente es más suave, y por consiguiente, se produce un incremento del pH en las zonas bajas de la montaña respecto a la cumbre (Soriano et al., 1996). Esta interpretación justifica la agrupación de las muestras de las parcelas Menejador, Mirador Pilatos y Pla de Mina a la izquierda del eje vertical (PCA 1) y la diferenciación de Vivero por su elevado contenido de carbonatos y ubicarse en las cotas más bajas.

La componente PCA 2 muestra una relación directa positiva entre la pendiente y el tamaño de los cantos superficiales y, por tanto, el carácter coluvial del suelo, es decir, cuanto mayor pendiente tiene la parcela de estudio, probablemente mayor es el contenido y el tamaño de los cantos en la superficie de la parcela. Este hecho podría interpretarse debido al transporte y sedimentación selectivo y diferencial de los cantos y otras partículas en función de su tamaño por efecto de la gravedad. En las pendientes se observa una

secuencia de sedimentación según el tamaño de los fragmentos rocosos desprendidos (Colombo, 2010). En primer lugar, se transportan los materiales y las partículas de menor peso y tamaño como las arcillas y limos, y los cantos de mayor tamaño permanecen en pendientes más abruptas, ya que necesitan mayor energía cinética para su desplazamiento (García, 2004). A su vez, los fragmentos rocosos en superficie pueden aumentar la rugosidad de la superficie y facilitar la infiltración y la sedimentación de materiales movilizados por el flujo de escorrentía superficial (Ingelmo et al., 1994).

La PCA 3 agrupa las variables que representan los nutrientes del suelo mediante el contenido de materia orgánica oxidable y la conductividad eléctrica (C.E.). Los nutrientes del suelo como el nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y azufre son elementos minerales, que se liberan a la solución del suelo en el proceso de transformación de la materia orgánica y alteración de la fracción mineral y, en consecuencia, se comportan como sales disueltas en el extracto acuoso. Por este motivo, se observa una relación directa entre el contenido de materia orgánica que aporta los nutrientes al suelo y la C.E.. Además, también se observa una relación inversa de ambas propiedades (materia orgánica y C.E.) con la densidad aparente del suelo (García y Schlatter, 2012). Este hecho podría deberse a que las parcelas se enclavan dentro del bosque mediterráneo donde se produce un aporte constante de restos vegetales a estos suelos forestales, de forma que se desarrollan horizontes O (orgánicos) que poseen altos contenidos de materia orgánica oxidable, y su grado de descomposición influye en la formación de humus en los horizontes Ah (Evrendilek et al., 2004). El humus que es un material muy poco denso, promueve la estructuración del suelo, dándole gran estabilidad e incrementa la porosidad en estos horizontes, en los cuales se favorece la aireación y penetración de las raíces. En consecuencia, los suelos analizados tienen alto contenido de sustancias húmicas y muy baja densidad aparente, ya que se trata de

suelos forestales con aportes continuos de biomasa vegetal (Thompson y Troch, 2002) que puede ser utilizada por la comunidad microbiana, cuya actividad resulta en la aportación de dichas sustancias húmicas al suelo.

Respecto a la parcela Vivero, posee los contenidos de materia orgánica más elevados y como observamos en la Figura 2 (4a y 4b) tiene un horizonte orgánico muy desarrollado. Este hecho podría deberse a que se enclava dentro de un área con elevado valor ecológico, como es el bosque cerrado de carrascas (*Quercus rotundifolia*), donde podemos encontrar individuos centenarios de más de 10 m de altura. Estos ejemplares de gran porte arbóreo son una excelente cobertura vegetal contribuyendo a la protección y conservación del suelo contra los procesos erosivos, tal y como han reportado Cerdà et al. (2017). Además, contribuyen al desarrollo de dicho horizonte orgánico por sus constantes aportes de materia orgánica fresca, principalmente hojarasca, debido a la alta densidad de carrascas de porte arbóreo. La descomposición de estos restos orgánicos por la microfauna y microorganismos completaría la recirculación de nutrientes en el ecosistema y volverían a estar disponibles para la vegetación y la microbiota. No obstante, la velocidad de transformación de la materia orgánica podría ser más lenta en esta área debido al carácter esclerófilo de las carrascas. Asimismo, podría deducirse una menor velocidad de avance de los compuestos orgánicos liberados en la transformación de la hojarasca hacia zonas más profundas del suelo como se refleja en la acumulación de carbonatos en la parcela de Vivero (Tabla 2). Sin embargo, en el Pla de la Mina, aunque se ubica dentro de la unidad ambiental de carrascal cerrado, es una parcela de estructura mixta donde predomina el *Q. rotundifolia* tanto en formaciones arbóreas abiertas de bajo porte, como en matorral arborescente generado por el rebrote de dichas carrascas. Además, se observa mayor porcentaje de sotobosque en esta parcela, principalmente durillo (*Viburnum Tinus*) y, por tanto, este cambio

en la estructura y composición de la vegetación podría provocar cambios en el grado de descomposición y espesor del humus generado. En relación con las parcelas ubicadas dentro del bosque de caducifolios (Menejador y Mirador de Pilatos) cuyas especies dominantes son de hoja caduca y marcescente, el aporte de hojarasca ocurre en una época muy concreta del año y dichos restos vegetales se descomponen más rápidamente, ya que poseen una cobertura foliar más fácilmente degradable, en contraste con las hojas coriáceas de las carrascas. En consecuencia, la materia orgánica procedente del bosque caducifolio tendría un mayor grado de humificación (y se podría intuir comunidades microbianas diferentes y/o menos especializadas en la descomposición de restos vegetales de carácter más recalcitrante como los de la carrasca) y mayor estabilización en su interacción con la fracción mineral (Martínez et al. 2016).

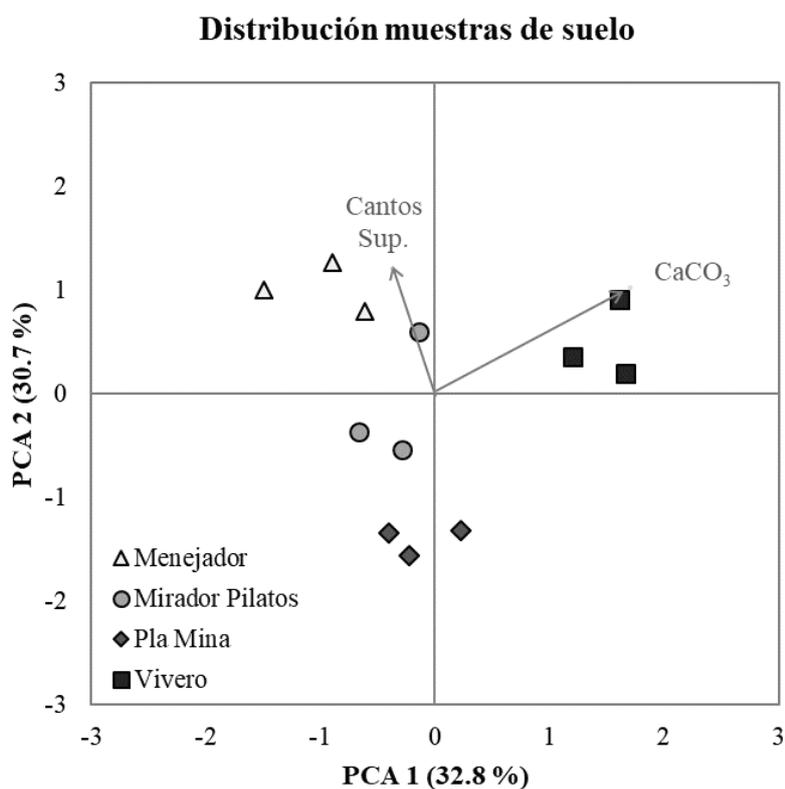
En resumen, según los primeros resultados obtenidos, las diferencias entre parcelas se interpretan como el resultado de diferencias en la composición y estructura de la vegetación influenciadas por el microclima y la altitud, la pendiente, la pedregosidad y el pH que influyen en la formación del suelo mineral como consecuencia de los procesos de aporte, acumulación y transformación de los restos vegetales (horizontes O) que conducen al desarrollo y a la adquisición de las propiedades en los horizontes minerales más superficiales (Ah) y, probablemente también, en otros horizontes más profundos. La formación efectiva de suelo en forma de complejos arcillo-húmicos y la estructuración del suelo en horizontes a mayor profundidad tiene una gran importancia en el funcionamiento hídrico, físico, químico y biológico del ecosistema (Molina et al., 2004). Este proceso requeriría confirmarse mediante un estudio más detallado de otras propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo y, paralelamente, complementar el trabajo con una caracterización detallada de la estructura, composición y diversidad de la vegetación en cada parcela.

Tabla 3. Resultado del análisis de componentes principales (con rotación varimax) aplicado sobre las propiedades físico-químicas del suelo. Los coeficientes de correlación < 0.10 no se muestran.

Matriz de componentes rotados

VARIABLES	PCA 1	PCA 2	PCA 3
CaCO ₃	0.91	0.29	0.11
Altitud	-0.89	0.36	-0.13
pH	0.79	-0.38	-0.11
Pendiente		0.95	
Cantos Sup.	-0.48	0.82	0.10
Mat. Org.	0.29	0.25	0.89
C.E.		-0.49	0.82
Dens. Apa.	0.24	-0.47	-0.68

Figura 4. Distribución espacial de las muestras del suelo en función de la agrupación de las variables físico-químicas mediante un análisis de componentes principales. Las flechas representan las variables que diferencian significativamente las parcelas como resultado de un análisis discriminante. Los paréntesis muestran el porcentaje de variación explicada por cada componente.



CONCLUSIONES

Tras la elaboración de este estudio preliminar se puede concluir que las propiedades del suelo están ligadas a los cambios altitudinales y, a su vez, a la sucesión altitudinal de las comunidades vegetales presentes en el Parque Natural de la Font Roja. La composición y estructura de la vegetación modifica las propiedades edáficas, del mismo modo que el suelo posee unas características intrínsecas que favorecen que se establezca una comunidad vegetal madura.

Las propiedades edáficas que se han mostrado significativamente afectadas en el gradiente altitudinal (1.300 – 1.000 msnm) son el tamaño de los fragmentos rocosos superficiales, la pendiente, el pH, el contenido de CaCO_3 y el contenido de materia orgánica. De estas características físico-químicas, las que mejor discriminan entre las 4 parcelas de estudio son el contenido de carbonatos y el tamaño de los fragmentos rocosos superficiales. Ambas variables muestran una relación inversa entre sí, ya que se observa mayor tamaño de los fragmentos rocosos en cotas más elevadas próximas a las paredes verticales de roca (zona de canchales), mientras que se produce una acumulación de carbonatos en las cotas más bajas, probablemente producido por un mayor lavado del suelo a mayor altitud y una disminución del lavado y, por tanto, la acumulación de carbonatos en zonas de menor pendiente y menor altitud.

Referente a la descomposición, reciclaje y potencial nutritivo, estos suelos forestales son ricos en materia orgánica con valores medios elevados, entorno al 20% en sus horizontes orgánicos (O) y en los horizontes minerales superficiales (Ah) se ha estimado un valor medio del 7.5%. El contenido de materia orgánica es un factor clave en el ecosistema, ya que influye significativamente en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, además de tener un papel fundamental en el ciclo de carbono global.

En último lugar, las muestras superficiales (0-10 cm) y las subyacentes (10-20 cm) fueron comparadas para evaluar el efecto de la profundidad, a la cual se toma la muestra de suelo, en las propiedades analizadas (pH, conductividad eléctrica, materia orgánica y contenido de carbonatos), y este análisis determinó que la profundidad tiene una influencia significativa sobre dichas características edáficas. Del mismo modo, dicho análisis concluyó que no se puede establecer una relación conjunta entre la altitud y el efecto de la profundidad sobre las propiedades físico-químicas analizadas, lo que sugiere un estudio más profundo del suelo combinado con la cobertura y composición de la vegetación orientado a determinar el funcionamiento hidrológico, físico-químico y biológico de cada parcela para la conservación y gestión del parque.

AGRADECIMIENTOS

Agradecer tanto al Departamento de Ecología de la Universidad de Alicante por su apoyo logístico y cesión de laboratorios para el análisis de muestras, como al Director-Conservador del Parque Natural de la Font Roja Salvador Palop Guillem, y al personal de dicho Parque.

Así agradecer al Ministerio de Ciencia y Tecnología (MINECO/FEDER) por la financiación del proyecto Alteraclim (CGL2015-69773-C2-1-P) y Survive-2 (CGL2015-69773-C2-2-P).

BIBLIOGRAFÍA

- Ballester, G., Stübing, G.** (1990) La Sierra del Carrascal de Alcoy. Flora y Vegetación. Cuadernos de la Naturaleza nº1. Caja de Ahorros Provincial de Alicante. Alicante.
- Cerdà, A., Lucas Borja, M.E., Úbeda, X., Martínez-Murillo, J.F., Keesstra, S.** (2017) *Pinus halepensis* M. versus *Quercus ilex* subsp. *Rotundifolia* L. runoff and soil erosion at pedon scale under natural rainfall in Eastern Spain three decades after a forest fire. *Forest Ecology and Management*, vol 400, pages 447-456.
- Chrenková, K., Mataix-Solera, J., Dlapa, P., Arcenegui, V.** (2014) Long-term changes in soil aggregation comparing forest and agricultural land use in different Mediterranean soil types. *Geoderma*, vol 235–236, pages 290-299.
- Colombo, F.** (2010) Abanicos aluviales: Secuencias y modelos de sedimentación (Capítulo). Libro: Sedimentología. Del proceso físico a la cuenca sedimentaria. Editorial, Textos Universitarios. Publicación CSIC, págs. 131-224.
- Edith Hernández, J., Tirado Torres, D., Beltrán Hernández, R. I.** (2014) Captura de carbono en los suelos. *PÄDI Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías del ICBI*, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, vol 1, nº 2.
- Evrendilek, F., Celik, I., Kilic, S.** (2004) Changes in soil organic carbon and other physical soil properties along adjacent Mediterranean forest, grassland, and cropland ecosystems in Turkey. *Journal of Arid Environments*, vol 59, issue 4, pages 743-752.
- FAO** (2002) Captura de carbono en los suelos para un mejor manejo de la tierra. Informes sobre recursos mundiales de suelos, 96. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Roma. Basado en el trabajo de Michel Robert, Institut National de Recherche Agronomique (INRA), París, Francia.
- FAO** (2009) Guía para la descripción de suelos, 4 edición. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Roma. Traducido y adaptado al castellano por Ronald Vargas Rojas (Proyecto FAOSWALIM, Nairobi, Kenya-Universidad Mayor de San Simón, Bolivia).
- García, L.C., Schlatter J.E.** (2012) Caracterización de suelos a lo largo de un gradiente altitudinal en Ecuador. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias* vol 7, nº 3, págs. 456-464.
- García, R.** (2004) Magnitud y frecuencia de las corrientes de derrubios en el barranco del Toro, Serra de Port del Compte. Tesina. Colecciones Escola Tècnica Superior d'Enginyers de Camins, Canals i Ports de Barcelona - Enginyeria Geològica (Pla 2000).
- Gómez, I.** (2016) Variación espacio-temporal de la caída de la fracción foliar de la hojarasca del Parque Natural de la Font Roja. Trabajo fin de Grado. Facultad de Ciencias. Universidad de Alicante.
- Ingelmo, F., Cuadrado, S., Ibáñez, A., Hernández, J.** (1994) Hydric properties of some Spanish soils in relation to their rock fragment content – implications for runoff and vegetation. *Catena* 23, págs. 73-85.
- Juárez, M., Sánchez A., Jordá J.D., Sánchez J.J.** (2004). Diagnóstico del potencial nutritivo del suelo. Publicaciones de la Universidad de Alicante, 98 págs.
- Martínez, D., Molina, M.J., Sánchez, J., Moscatelli, M.C., Marinari, S.** (2016) API ZYM assay to evaluate enzyme fingerprinting and microbial functional diversity in relation to soil processes. *Biology and Fertility of Soils*, vol 52, issue 1, pages 77-89.
- Molina M.J., Soriano M.D., Pons V.** (2004) Sòls, Aigua i Desertificació. Anuari de l'agrupació Borriana de Cultura. Revista de Recerca Humanística i Científica L. Lapeña i I. Qeral (eds.): *Preservar l'aigua, conservar la vida. Un compromís social i ambiental*. I.S.S.N. 1130-423. Burriana. Vol XV, págs. 53-64.
- Rial, M., Martínez Cortizas, A., Rodríguez-Lado, L.** (2017) Understanding the spatial distribution of factors controlling topsoil organic carbon content in European soils. *Science of the Total Environment*, vol 609, pages 1411-1422.

- Rodà, F., Retana, J., Gracia, C.A., Bellot, J.** (1999) Ecology of Mediterranean evergreen oak forests. Eds. Ecological studies, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, vol 137, 373 pages.
- Rodà, F., Vayreda, J. & Ninyerola, M.** (2009) 9340 Encinares de *Quercus ilex* y *Quercus rotundifolia*. En: VV.AA., Bases ecológicas preliminares para la conservación de los tipos de hábitat de interés comunitario en España. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino. 94 p.
- Rubio, J.L., Sánchez, J., Forteza, J., Colomer, J.C., Antolin, C., Andreu, V., Boluda, R., Carbó, E., Hernández, J.A., Molina, M.J., Moraleda, M., Pons, V., Salvador, P., Soriano, M.D.** (1995) Mapa de suelos de la Comunidad Valenciana. Onteniente. (págs. 56-59 y 72-75). Generalitat Valenciana, Conselleria d' Agricultura, Pesca i Alimentació. Servei d'Estudis Agraris i Comunitaris (I.S.B.N. 84-482-0852-x). Valencia, 120 págs.
- Salas, M.M.** (2017) La producción de hojarasca en el parque Natural del Carrascal de la Font Roja. Fenología y factores ambientales de control de la misma. Trabajo fin de Grado. Facultad de Ciencias. Universidad de Alicante.
- Soriano M.D., Calvo A., Boix C., Pons V.** (1996) Variaciones en las propiedades de los suelos y su agregación en un transecto altitudinal de la Provincia de Alicante. Cuaternario y Geomorfología, 10 (1-2), págs. 45-58.
- Terrones, B., Bonet, A., Carchano, R., Brotons, J., Segura, M.** (2006) Cartografía de la cubierta vegetal del parque natural del Carrascal de la Font Roja. Iberis 4, págs. 73-88.
- Thompson M., F. Troch.** (2002) Soil and Fertility. 4.ed. New York, USA. Mc. Graw-Hill Back Company, 627 pages.