

## Descubrimiento y caracterización de una cuenca endorreica en la cumbre de Sierra Bermeja (provincia de Málaga)

J. Gómez-Zotano<sup>1</sup>, J.A. Olmedo-Cobo<sup>1</sup>, E. Martínez-Ibarra<sup>1</sup>, R. Cunill-Artigas<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Análisis Geográfico Regional y Geografía Física, Universidad de Granada. 18071 Granada.

<sup>2</sup> GRAMP, Universidad Autónoma de Barcelona. 08193 Bellaterra, Cerdanyola del V. (Barcelona).

*jgzotano@ugr.es, jaolmedo@ugr.es, emibarra@ugr.es, cunillraquel@gmail.com*

**RESUMEN:** Se presenta el reciente hallazgo de una cuenca endorreica en la cumbre de la Sierra de la Palmitera, una abrupta estribación del macizo peridotítico de Sierra Bermeja (SW de la provincia de Málaga) que alcanza 1.473 msnm. Dada la naturaleza ultramáfica de esta montaña litoral, dicha cuenca se considera una excepcionalidad geomorfológica para el conjunto de los afloramientos peridotíticos conocidos. El trabajo de campo y la interpretación de fotografías, principales procedimientos metodológicos de la investigación, y el uso de un SIG han permitido un reconocimiento geográfico inicial y el cartografiado de los principales rasgos físicos a escala de detalle (1:5.000). Los resultados obtenidos son: (1) un mapa topográfico (equidistancia de curvas de nivel 5 m) como base de la cartografía temática; (2) la identificación, caracterización y cartografiado a la escala señalada de las principales unidades geomorfo-edáficas; (3) la caracterización de la vegetación y la flora de la cuenca mediante el análisis fitosociológico, y el levantamiento de un mapa de vegetación a escala de detalle. Estos resultados son de gran interés para el conocimiento de Sierra Bermeja, y suponen una aportación a su extraordinaria geodiversidad y biodiversidad. Asimismo, conllevan una serie de interrogantes en cuanto al origen de la cuenca, su funcionamiento y papel ecológico, que serán objeto de futuras investigaciones. Como rasgo sobresaliente, la acumulación de sedimentos en el fondo de la cuenca posibilita el estudio paleo-ecológico de la vegetación a partir de los carbones depositados en el suelo, lo que a su vez permite obtener valiosa información cronológica y espacial de las dinámicas geomorfo-edáficas endorreicas de este enclave.

**Palabras-clave:** Caracterización geográfica, endorreísmo, peridotitas, Sierra Bermeja.

### 1. INTRODUCCIÓN

El endorreísmo constituye una excepcionalidad geomorfológica para el conjunto de los afloramientos peridotíticos conocidos dada la naturaleza masiva e impermeable de este tipo de sustrato. En consecuencia, no existen antecedentes en la literatura científica para contextualizar el reciente hallazgo de una cuenca endorreica en la línea de cumbres de la Sierra de la Palmitera, estribación peridotítica de Sierra Bermeja caracterizada por tener la más agreste arista cimera. Tanto su accidentada orografía, como la escasez de infraestructuras viarias, explican la ausencia de exploraciones científicas previas.

En esta comunicación se presenta el reciente hallazgo y se realiza una caracterización geográfica preliminar de los principales rasgos físicos de la cuenca. El interés de los resultados podría resumirse, en apretada síntesis, en dos aspectos: (1) la excepcionalidad geomorfológica que representa la presencia de un área con drenaje endorreico en línea de cresta en una montaña litoral mediterránea de naturaleza peridotítica; (2) la singularidad de los ecosistemas serpentínicos identificados así como de su evolución paleoecológica.

A tenor de los resultados, son tres las líneas de investigación a desarrollar en el futuro: el estudio de la génesis geomorfo-edáfica, el inventariado de la flora y la datación radiocarbónica de los restos de carbón vegetal.

### 2. METODOLOGÍA

#### 2.1. Métodos

Para este trabajo se ha realizado un análisis integrado del medio físico que contempla el estudio preliminar del relieve, los suelos, la vegetación y los usos antrópicos. El trabajo de campo y la interpretación

de fotografías aéreas, principales procedimientos metodológicos de la investigación, así como el uso de un SIG, han permitido un reconocimiento geográfico inicial y el cartografiado de los principales rasgos físicos a escala de detalle (1:5.000).

Partimos de la identificación visual sobre fotografía aérea de una “supuesta cuenca endorreica” en septiembre de 2012. La realización de una primera incursión a la zona (26 de abril de 2013) permitió corroborar dicha suposición. Dado que la cartografía topográfica existente no refleja el endorreísmo de la cuenca, en primer lugar se ha procedido a la delimitación de la misma y a su cartografiado detallado (base topográfica) utilizando como fotografía de referencia la imagen del PNOA de la hoja 1065 con sistema de proyección ETRS89 y huso 30 (fecha de vuelo 07-2013), y la capa vectorial altimétrica de 2 m de equidistancia obtenida a partir del modelo digital del terreno del IGN. Esta cartografía topográfica y la temática se han realizado mediante el sistema de información geográfica ArcGis 10.1, con salida gráfica de isolíneas altimétricas con equidistancia 5 m extraídas del modelo digital del terreno de España con paso de malla de 5 m.

El análisis geomorfológico se ha realizado a partir de la fotointerpretación. Se han identificado, caracterizado y cartografiado a la escala señalada las principales geoformas. El trabajo de campo permitió la observación directa de la composición litológica y la disposición de los elementos analizados a nivel superficial y subsuperficial, este último a través de un sondeo de 1x1 metros realizado para el posterior análisis pedoantracológico.

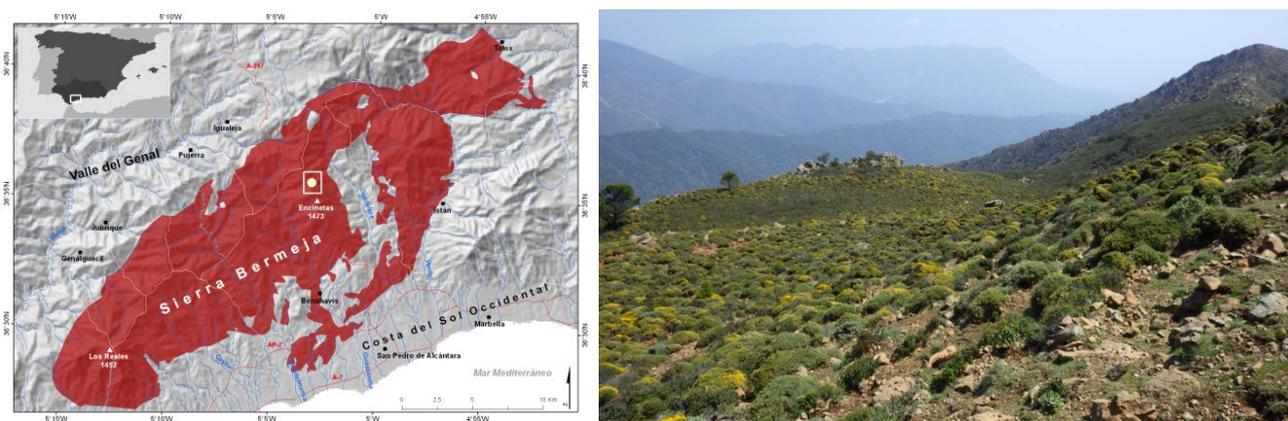
El análisis edáfico ha consistido, por un lado, en el sondeo superficial realizado en cinco puntos correspondientes con distintas unidades geomorfológicas identificadas previamente. Para ello, se han tomado muestras de 500 gr de suelo, habiéndose medido en el Laboratorio de Edafología de la Universidad de Granada el pH (pH-metro), la conductividad en  $\mu\text{S}$  (conductímetro) y la carga de metales pesados en ppm (espectrómetro de rayos X). Por otra parte, el sondeo pedoantracológico anteriormente referido ha permitido obtener información sobre la antracomasa y las especies asociadas al carbón vegetal correspondiente. La cata pedológica se ha realizado en el fondo de la cubeta, alcanzando 70 cm de profundidad, habiéndose identificado 5 niveles de muestreo delimitados a partir de la descripción de los horizontes edáficos. La separación e identificación del carbón se realizó en base al procedimiento descrito por Thinon y Carcaillet (1996) y Talon et al. (1998). Las mallas de tamizado y los consecuentes tamaños de los carbonos han sido 4, 2 y 1 mm. Se ha utilizado un microscopio episcópico Olympus BX 51 (50x, 100x, 200x y 500x) y una lupa trinocular C-LEDS. Los taxones fueron determinados con la ayuda de los atlas de anatomía de maderas y carbonos (Schweingruber 1990a, 1990b, Vernet 2001) y la antracoteca propia del Laboratorio de Geografía Física de la Universidad de Granada realizada a partir de la carbonización de muestras de maderas locales.

El análisis de la vegetación se ha llevado a cabo mediante el reconocimiento exhaustivo del área de estudio, tanto para la caracterización específica de las distintas comunidades identificadas como para su georreferenciación, teniendo como apoyo fundamental las obras de Brooks et al. (1995), Cabezudo et al. (1998), Rivas-Martínez (2011), Pérez-Latorre et al. (2013) y Gómez-Zotano et al. (2014, 2015b).

## **2.2. Contexto territorial del ámbito de estudio**

El ámbito de estudio se sitúa al norte del municipio malagueño de Benahavís (36°35'53'' N, 5°03'21'' W), en la línea de cumbres de la Sierra de la Palmera, una montaña media vigorosa que alcanza 1473 m.s.n.m frente a la costa mediterránea. De litología peridotítica (Iherzolitas fundamentalmente), forma parte del Manto Alpujárride de Los Reales que conforma el macizo ultramáfico de Sierra Bermeja, bastión más occidental de la Cordillera Bética (fig. 1).

De acuerdo con Gómez-Zotano et al. (2015a), la zona de estudio se enmarca en el dominio climático de media montaña identificado para el territorio de Andalucía, concretamente en la tipología “Clima mediterráneo semi-oceánico subhúmedo-húmedo de la Serranía de Ronda Oriental”. A pesar de su posición resguardada por la Serranía de Ronda occidental, su altitud condiciona su pertenencia a la variante húmeda (precipitaciones anuales en torno a 1.000-1.300 mm), con temperaturas medias anuales que pueden situarse entre los 13-15°C. Además, conviene advertir la proximidad de la zona al Estrecho de Gibraltar, cuyo peculiar régimen de vientos trasciende hasta alcanzar decisivamente las sierras litorales malagueñas. En este caso en concreto, los regímenes de levante permiten la formación de nubosidad baja de retención y nieblas en las crestas, régimen predominante en verano en la zona del Estrecho de Gibraltar (Dorman et al., 1995; Ibarra-Benlloch, 1989). Por ello, conviene resaltar la importancia de la criptoprecipitación (Valladares, 2009), especialmente en verano, y como entrada hídrica para la vegetación (López et al., 2013).



**Figura 1.** Mapa de situación y aspecto general de la cuenca desde el cordón superior.

A nivel biogeográfico, el ámbito de estudio pertenece al distrito Bermejense del sector Rondeño de la provincia corológica Bética. Su vegetación se caracteriza por la existencia de dos grandes dominios forestales, correspondientes a los pinares edafoxerófilos de *Pinus pinaster*, extendidos por buena parte del macizo, y a los abetales climatófilos de *Abies pinsapo*, limitados a determinadas cumbres (Los Reales, Abanto, Plaza de Armas y Corona). Según Rivas-Martínez (2011) estos bosques identifican, respectivamente, las series de vegetación exclusivamente bermejenses *Quercus cocciferae-Pinetum acutisquamae* S. y *Bunio macucae-Abietetum pinsapo* S. Si bien estas coníferas circunmediterráneas constituyen las especies dominantes de las formaciones arbóreas que se desarrollan sobre sustratos ultramáficos, no son las únicas especies arbóreas que aparecen en Sierra Bermeja; la presencia variable de *Quercus* ha suscitado una enquistada controversia a la hora de determinar la vegetación climácica sobre este tipo de sustrato. Por otra parte, se ha reabierto el debate sobre la distribución de los pinsapares serpentinícolas en las cumbres de Sierra Bermeja, dada la dramática regresión sufrida en los últimos años por estos taxones relictos (Gómez-Zotano, 2004b).

La flora destaca por la presencia de numerosos taxones exclusivos de este macizo, que acusan fenómenos de serpentinomorfosis, y que están especialmente adaptados a los altos contenidos en metales pesados que presentan los suelos serpentiníticos (Gómez-Zotano et al., 2014). Además, la toxicidad de estos suelos provoca la exclusión de buena parte de las especies de las formaciones mediterráneas circundantes, incluso de aquellas exóticas y/o invasoras (Rivas-Goday, 1969; Cabezudo et al., 1989; Asensi et al., 2004).

Las limitaciones inherentes a dicho subsistema natural, como pendientes escarpadas, alta pedregosidad y rocosidad del suelo o toxicidad del mismo por los elementos pesados que contienen las peridotitas, han limitado los aprovechamientos antrópicos a la explotación maderera del pino resinero, especialmente durante los siglos XIX y XX, y a la ganadería extensiva de caprino y ovino, vigente en la actualidad. Cabe considerar, además, la importancia que tienen los incendios forestales en la cubierta vegetal actual de Sierra Bermeja. Los episodios catastróficos de fuego, que en su mayor parte son de origen antrópico, presentan una marcada incidencia desde 1960 y una creciente proliferación (Gómez-Zotano, 2004a), lo que ha provocado que una parte sustancial del macizo esté desarbolada, habiendo sido sustituidas las etapas climácicas arbóreas por facies seriales. La Sierra de la Palmitera fue plenamente afectada por los grandes incendios de 1975 y 1991.

En relación con el sistema de protección ambiental, la Sierra de la Palmitera ha sido desigualmente reconocida y suma varias iniciativas que, en el contexto de Sierra Bermeja, le afectan parcialmente: ZEC “Sierras Bermeja y Real” (COD ES6170010) y Reserva de la Biosfera Intercontinental del Mediterráneo Andalucía (España)-Marruecos. A pesar de ello, ha sido catalogada en parte como Suelo Urbanizable en el PGOU de Benahavís, integrándose en la urbanización “La Zagaleta”. Desde el año 2007 diferentes entidades públicas y colectivos sociales han propuesto la declaración del conjunto de Sierra Bermeja como Parque Nacional, la máxima apuesta de futuro de una Red compuesta por espacios naturales en buen estado de conservación que incluyen grandes ecosistemas representativos del Estado, en este caso los ecosistemas serpentiníticos. Otra iniciativa más tardía (año 2014) defiende la reconversión del Parque Natural de la Sierra de las Nieves en Parque Nacional, argumentando, entre otros valores naturales, la presencia de peridotitas y de su flora y fauna asociadas, para lo cual incluyen parte de la Sierra de la Palmitera (finca “La Máquina”).

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1. Caracterización topográfica

El ámbito de estudio conforma una pequeña cuenca endorreica de 30 has de superficie y forma ovalada (Figura 2). Presenta una orientación NW-SE y un gradiente altitudinal de 68 metros, alcanzando 1.432 metros en la parte más alta y 1.364 metros en su fondo. Las pendientes oscilan entre llana y moderadamente escarpada a escarpada.

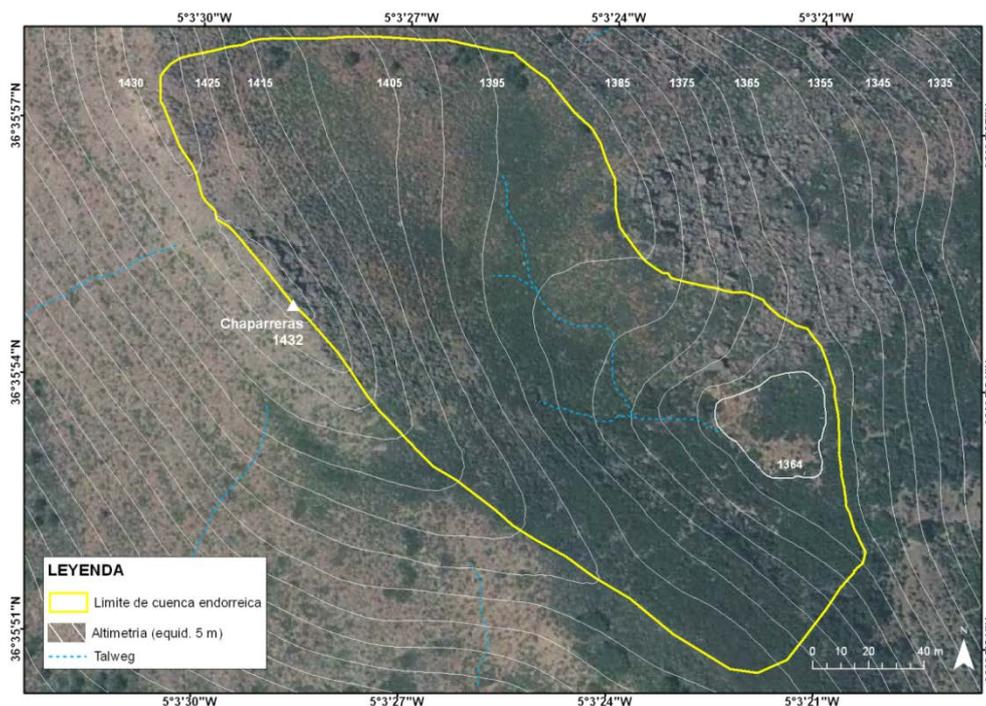


Figura 2. Mapa topográfico del ámbito de estudio.

#### 3.2. Caracterización geomorfológica

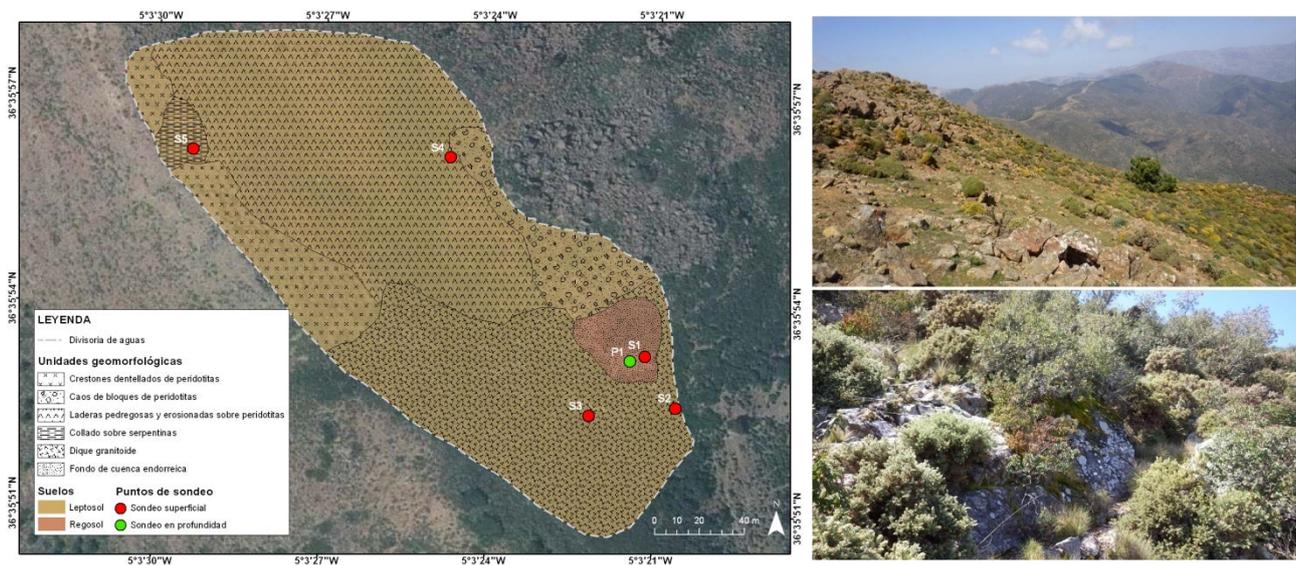
La cuenca se divide en dos unidades litológicas claramente diferenciadas: peridotitas (lherzolitas con plagioclasa)-serpentinas y granulitas. Como puede observarse en el mapa geomorfo-edáfico (Figura 3), el relieve del afloramiento peridotítico se caracteriza por la presencia de diversas geoformas: crestones dentellados, laderas pedregosas y erosionadas, caos de grandes bloques heterométricos de hasta 8-10 metros de eje mayor, y collado sobre serpentinas (rocas más deleznable). El característico diaclasado de estas rocas ultramáficas explica la fuerte pedregosidad y los frecuentes afloramientos líticos que proliferan por toda la cuenca, siendo llamativos los coluviones desarrollados al borde de la misma. La característica costra rojiza de serpentina -generada por la peridotita alterada por los agentes atmosféricos- está cargada de óxido de hierro y recubre el verde original de la roca de forma continuada por todo el afloramiento. Esta serpentización atmosférica afecta también al micromodelado de la roca (microcarst serpentínico): las lherzolitas con plagioclasa contienen cristales angulares y brillantes de dialoga que erizan la roca debido a su mayor resistencia ante la erosión, dotándola de una textura cristalina muy áspera al tacto.

El sector meridional de la cuenca es atravesado por una intrusión filoniana ácida de composición cuarzo-feldespática (granulitas) que ocupa el 33,2% del ámbito de estudio. Ésta corta oblicuamente la foliación y el bandeado de las peridotitas en sentido NW-SE, al igual que el resto de filones verticales de rocas ácidas de Sierra Bermeja concordantes con las grandes roturas del afloramiento ultramáfico. El roquedo aflora en superficie y se caracteriza por su dureza, el color blanco puro y su aspecto externo de granito de grano fino (las granulitas son rocas cristalinas que a simple vista muestran manchitas brillantes de cuarzo, menos brillantes de feldespato plagioclasa y negras de biotita).

El dique granitoide, a través de una serie de coluviones, cierra la cuenca en sentido NW-SE y obstruye su avenamiento, generando un pequeño rellano de acumulación de arcillas de 1.100 m<sup>2</sup> y fondo plano. Éste, pese a la inexistencia de sumidero, no presenta indicios de encharcamiento (cuarteamiento u horizonte gris del suelo, vegetación higrófila), lo que hace pensar en un lecho de origen coluvial que facilita la infiltración

del agua. El análisis superficial de la estructura y morfología del depósito de cierre de la cuenca parece descartar su origen glaciar (morrena terminal); la homogeneidad litológica (granulitas) y ausencia de peridotitas, a pesar de los afloramientos aguas arriba, es un indicio que apunta al escaso transporte del depósito. Similares conclusiones se obtienen al observar la morfología de los clastos en profundidad, con aristas vivas y sin ninguna evidencia de desgaste.

Respecto al posible modelado periglacial de la cuenca endorreica –como del resto de las cumbres de la Sierra de la Palmitera–, Gómez Ortiz et al. (1994) señalan que en determinados macizos calizos litorales malagueños se han encontrado evidencias de periglaciario a unos 800-1.000 metros de altitud: (1) manifestaciones de kartstogénesis periglacial a partir de 1.100 m y depósitos de grèzes litéas desde unos 900 m en Sierra Blanca (1.270 m); y brechas, canchales y éboulis desde unos 800-900 m en Sierra Blanca y Sierra de Mijas (1.150 m). El mismo autor señala que morfologías de nivación se han encontrado más al interior y en sectores con mayor precipitación, a partir de unos 1.500 m, como es el caso de la Sierra del Endrinal, en el macizo gaditano de Grazalema. Por tanto, se puede considerar que durante las glaciaciones del Cuaternario los ciclos hielo-deshielo y formación de clastos han participado en el modelado de determinadas zonas cacuminales de la Sierra de la Palmitera, si bien no es posible establecer a priori una relación sólida entre dicha dinámica y determinados aspectos morfológicos de la cuenca.



**Figura 3.** Mapa geomorfo-edáfico. En la imagen superior serpentinas –en primer plano–, crestería y laderas de peridotitas en el borde norte de la cuenca (arriba). En la fotografía inferior detalle del dique granitoide.

### 3.3. Caracterización pedoantracológica

La poca potencia de los suelos conlleva el dominio de las tipologías leptosólicas frente a los regosoles, que reducen su existencia a la zona coluvial del fondo de la cuenca.

El primer grupo de suelos tiene una amplia implantación en las laderas de la cuenca y se desarrolla sobre toda la gama litológica descrita anteriormente. Los procesos erosivos externos, favorecidos por un régimen de lluvias errático, material consolidado y fuertes pendientes, provocan el constante rejuvenecimiento del suelo pese a la densa vegetación. Se han identificado tres tipologías de Leptosoles: Leptosoles líticos, eútricos y móllicos. Todos ellos tienen en común la ausencia de carbonatos, pedregosidad y discontinuidades laterales causadas por los numerosos afloramientos. Los Leptosoles líticos no suelen superar los 10 cm y aparecen en las superficies más afectadas por la erosión. En el resto de las posiciones aparecen Leptosoles eútricos cuando llegan a los 30 cm. En las zonas más resguardadas y de mayor densidad vegetal (caso del encinar), pueden desarrollarse Leptosoles con epipedón móllico inferior a 30 cm.

Los suelos evolucionados a partir de peridotitas con distinta composición mineralógica son siempre ricos en ferromagnesianos, responsables del fuerte y característico color rojo que presentan (el proceso de fersialitización da lugar a arcillas de neoformación a partir del olivino y los demás minerales accidentales). Destaca la abundancia de afloramientos rocosos de aspecto característico (microcarst serpentínico). Sobre las serpentinas de la divisoria de aguas, dada su posición topográfica y la escasa o nula cubierta vegetal, los suelos quedan expuestos a una intensa erosión hídrica y eólica, lo que explica su escasa potencia. La poca

talla de las especies vegetales justifica la ausencia de horizontes móllicos, de ahí que no se hayan podido observar suelos con este epipedón.

Los Regosoles, por su parte, aparecen en el fondo de la cuenca sobre material no consolidado, coluvial, con más del 20% de tierra fina dentro de los 50 cm superficiales. El perfil levantado muestra como los Regosoles evolucionan a partir de una formación de cantos heterométricos de granulitas (6-60 cm de eje mayor) embutidos en una matriz roja de naturaleza arcillosa. Presentan un epipedón ócrico en el que no se distinguen horizontes de diagnóstico claros. El pH ligeramente por debajo de 6 categoriza a este suelo como dístrico (FAO, 2014) (Figura 4).

Se han realizado cinco sondeos edáficos superficiales en distintos puntos de la cuenca (S1-5) con el fin de caracterizar los parámetros pH, conductividad y metales pesados, así como un muestreo en profundidad para analizar la presencia de carbón en el suelo. Los datos obtenidos de los sondeos superficiales (Tabla 1) muestran unos niveles de pH crecientes desde el fondo de la cuenca hasta las posiciones más exteriores sobre peridotitas; los valores de S1, S2 y S3 (fondo y dique granitoide) oscilan entre medianamente y ligeramente ácidos según la escala USDA, obteniendo valores característicos de suelos neutros-ligeramente básicos sobre peridotitas (S4) y serpentinas (S5). Cabe presuponer que las altas tasas de precipitación contribuyan al lavado de los suelos.

Los naturales procesos geoquímicos en la meteorización de las rocas peridotíticas conducen a la formación de suelos serpentínicos. Como se puede observar en la tabla 1, estos presentan factores edáficos muy singulares, en comparación con otros sustratos, que incluyen limitaciones excepcionales de nutrientes esenciales tales como N, P, K, y un alto contenido en metales pesados tóxicos y/o sin función biológica conocida (Cr, Ni, Co, Cu). Este contenido en metales pesados, sensiblemente menor en los puntos S2 y S3 sobre el dique ácido, conlleva disfunciones en los organismos de los seres vivos y un carácter xerófilo de los suelos, con alta susceptibilidad a la erosión, tal y como han puesto de manifiesto Yusta et al. (1985), Aguilar et al. (1998), Rufo et al. (2005) y Mota et al. (2008). Por otra parte, los suelos derivados del dique ácido muestran tasas mucho más elevadas de Sr, Rb, Zn, Ti y K que aquellos derivados de las rocas ultramáficas, relativamente empobrecidas en estos minerales. El suelo del fondo de la cuenca (S1) contiene una composición mineralógica más heterogénea debido a la influencia de las dos litologías, si bien destaca la alta tasa de Cu registrada.

**Tabla 1.** Resultados de los sondeos edáficos superficiales.

VARIABLE	S1	S2	S3	S4	S5
pH	5,96	6,08	6,07	6,51	7,28
Conductividad (µS)	243	141	130	156	188
Metales pesados (ppm)					
Sr	34,3	72,7	80,4	13,6	5,8
Rb	48,6	35,8	44,7	18	7,3
Pb	33,5	31,3	34,5	27,8	20,0
Zn	66,8	54	41,8	--	--
Cu	60,6	22,9	26,3	47,8	--
Ni	1810	678,1	474,4	3964	2814
Co	778,6	--	--	1171	621,9
Fe	71.000	27.500	25.300	126.300	52.900
Mn	1944	977,5	522	2761	1059
Cr	3819	1145	792,1	7062	3432
V	--	154,8	215,6	194,7	--
Ti	4056	6659	7199	1901	545,5
Ca	10.600	9424	8452	12.900	9312
K	7144	6905	6882	3154	1929

Respecto al análisis pedoantracológico que se extrae del sondeo realizado en profundidad en el fondo de la cuenca (P) (Figura 4) se puede destacar la existencia de elevadas tasas de carbón en suelo en todos los niveles identificados, lo que determina niveles muy importantes de antracomasa (Figura 5). En particular,

sobresale la importante acumulación de carbón en el nivel II (>74.000 mg/kg), lo que hay que relacionar con gran probabilidad con el incendio que arrasó la práctica totalidad de la Sierra de la Palmitera en 1975; los más que probables arrastres por erosión desde las laderas periféricas hasta el fondo de la cuenca en los primeros años tras el episodio de fuego contribuyeron previsiblemente a la acumulación de carbón, habiéndose formado por el mismo motivo desde entonces una capa de suelo de unos 15 cm.

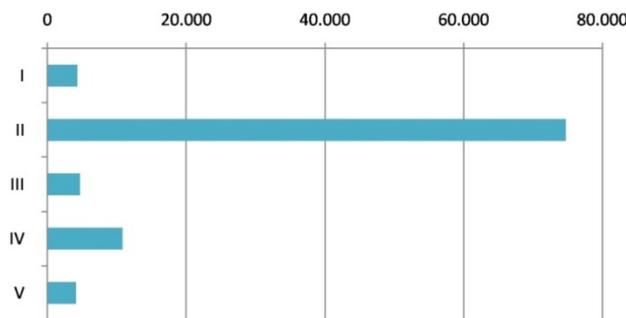
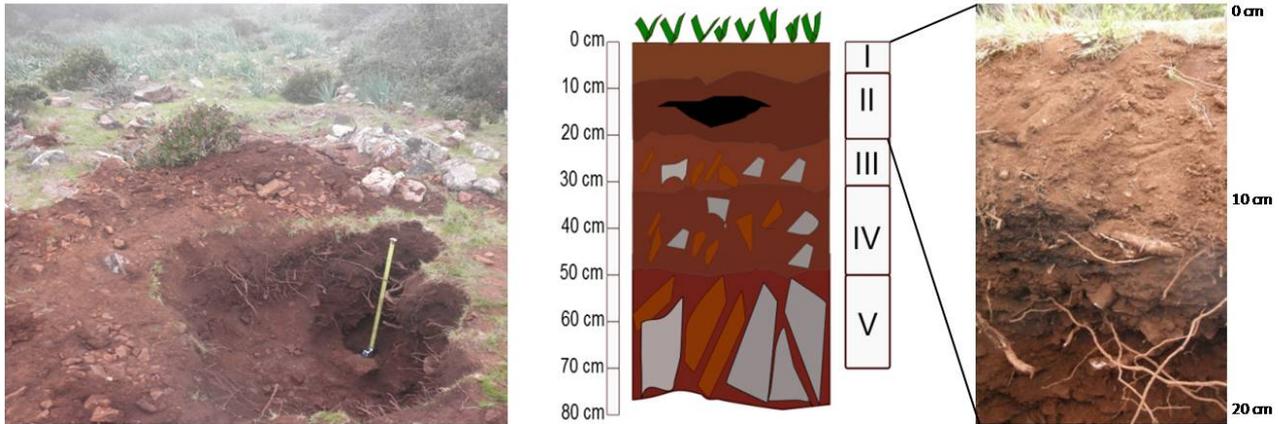


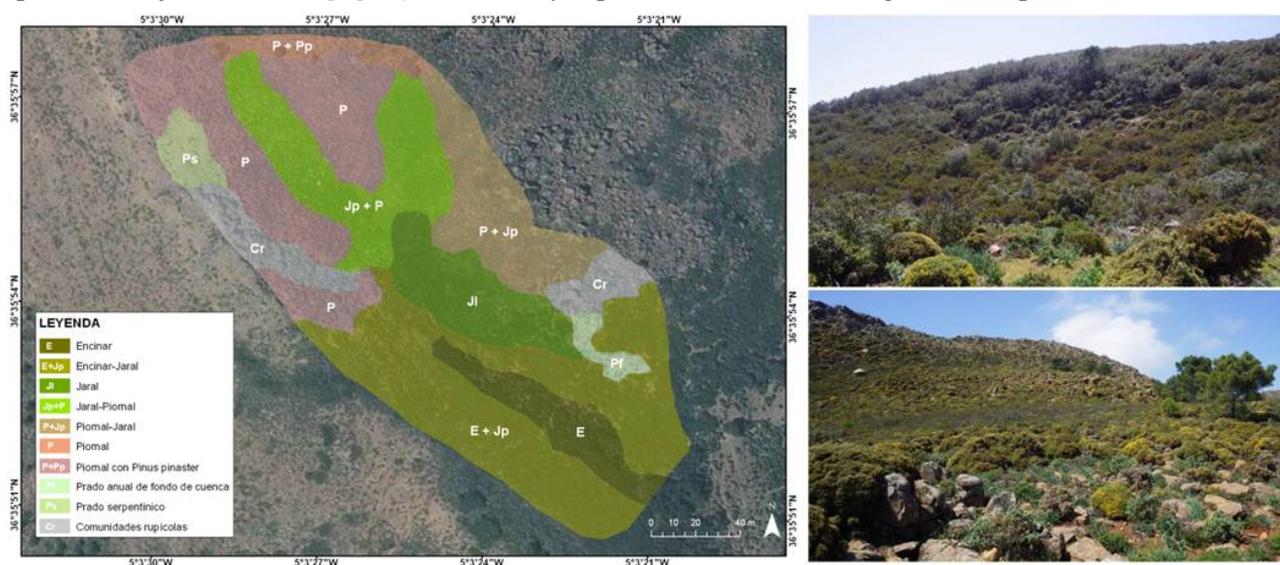
Figura 5. Antracomasa (mg/kg suelo) por niveles de muestreo.

Los resultados preliminares de la identificación antracológica que se ha llevado a cabo en los niveles I (superficial), II (mayor antracomasa) y V (inferior), muestran un predominio de *Quercus* ssp. y, en menor medida, de *Cistus* ssp. Estas especies coinciden con la vegetación actual presente en el ámbito de estudio.

### 3.4. Caracterización de la vegetación

Dentro del singular contexto lito-edáfico y mesoclimático del área de estudio se han identificado cinco comunidades vegetales de marcada composición florística y distribución (Figura 6). En primer lugar, destaca la aparición de un bosque relicto de *Quercus rotundifolia* de carácter cerrado y talla media, con ejemplares de porte achaparrado-arborescente. Se trata de una tesela de vegetación, a falta de un estudio florístico detallado, asimilable a los encinares béticos de *Paeonio coriaceae-Quercetum rotundifoliae* Rivas Martínez 1964 en su variante termófila y calcífuga. La mancha perfila un estrato prácticamente monoespecífico hacia su interior, en el que solo destacan algunos esciófilos como *Pteridium aquilinum*, *Viola kitaibeliana* y *Hiacinthoides hispanica*, taxón este último posible indicador ecológico de *Abies pinsapo*. Hacia el exterior se enriquece con una segunda comunidad que en parte representa su etapa de sotobosque. Se trata de una densa formación de *Cistus ladanifer*, cuya composición florística principal está constituida básicamente por *Cistus populifolius* y, en menor medida, por *Cistus salvifolius*, *Phlomis lychnitis*, *Daphne gnidium*, *Quercus coccifera*, *Genista lanuginosa* y *Ulex baeticus*. Su acotación sintaxonómica en esta localidad se puede asimilar, aunque con reservas, a los jarales de *Calicotomo villosae-Genistetum hirsuti* Martínez-Parras, Peinado y Cruz 1988, propios de *Teucrio baetici-Quercetum suberis* S.

Fuera de la influencia directa del dique granitoide aparecen dos comunidades de matorral que forman parte, habitualmente, de la sucesión vegetal teórica de los abetales bermejenses de *Bunio macucae-Abietetum pinsapo* S. Se trata de un piornal de *Ulex baeticus* y *Genista lanuginosa*, y de un jaral de *Cistus populifolius*, que integran la asociación *Genisto lanuginosae-Cistetum populifolii* Asensi y Díez Garretas 1992, exclusiva de Sierra Bermeja, y que es representativa de la degradación de la etapas de prebosque de orla del pinsapar. El piornal se asienta sobre los suelos más serpentínicos, es decir, en las posiciones más alejadas del dique ácido y de su influencia edáfica; en general presenta una cobertura vegetal medio-alta, y está integrado básicamente por *Genista hirsuta* ssp. *lanuginosa*, *Ulex baeticus*, *Cistus populifolius* ssp. *major*, *Cistus salvifolius*, *Thymus baeticus*, *Lithodora prostrata* ssp. *lusitanica*, *Phlomis lychnitis*, *Halimium atriplicifolium* ssp. *atriplicifolium*, *Erodium cicutarium*, *Prolongoa hispanica*, *Quercus coccifera*, pies aislados de *Pinus pinaster* var. *acustiquama* y los endemismos serpentínicos exclusivos de Sierra Bermeja *Armeria colorata* y *Alyssum serpyllifolium* ssp. *malacitanum*. El jaral, que como formación vegetal presenta un carácter mucho más difuso, parece conformar una banda de vegetación de transición entre el piornal y la formación de *Cistus ladanifer*, siendo común su desarrollo mixto con ambas. Esto favorece una mayor variabilidad florística, apareciendo, junto a *Cistus populifolius*, la mayor parte de los taxones integrantes del piornal.



**Figura 6.** Mapa de unidades de vegetación. En la fotografía superior se puede apreciar la banda de encinar (E, E+Jp) restringida básicamente al dique granitoide. En la imagen inferior la comunidad de piornal (P) con pies aislados de *Pinus pinaster* (P, P+Jp, P+Pp) sobre peridotitas en la mitad norte de la cuenca.

En el fondo de la cuenca, sobre los regosoles, aparecen las praderas de diente. Se trata de la quinta comunidad, en este caso de mayor espectro ecológico, identificable como *Poo bulbosae-Astragaletum sesamei* Rivas-Goday y Ladero 1970. Este pequeño majadal está integrado por distintas especies de *Poa*, *Trifolium*, *Festuca*, etc., y se ve favorecido por la nitrificación edáfica debido a la fauna (*Sus scrofa* principalmente) y a la presencia ocasional de ganado doméstico, siendo frecuentes, por este motivo *Asphodelus* ssp. En los prados anuales que se desarrollan en el collado de serpentinas se puede encontrar *Sesamoides canescens*, *Trifolium* sp., *Leucanthemum* sp., *Leucanthemum plantula*, *Leontodon longirostris*, *Erodium*, *Valeriana tuberosa* o *Alyssum serpyllifolium* subsp. *malacitanum*. La última comunidad está compuesta por las formaciones rupícolas que colonizan los roquedos peridotíticos. Destaca la presencia de *Ruscus aculeatus*, *Cystopteris fragilis*, *Asplenium trichomanes*, *Asplenium ceterach* o *Bromus tectorum*.

Los análisis pedoantracológicos, pendientes de resultados, despejarán dudas sobre la enquistada controversia latifolias-coníferas en sustratos ultramáficos. Tal y como se ha evidenciado, el encinar muestra una clara relación con los suelos derivados del dique ácido. No obstante, la toponimia local hace alusión, reiteradamente, a la presencia de *Quercus* en el entorno inmediato de la cuenca analizada (Encinetas, Las Chaparreras, barranco de Las Chaparreras...). Además, aparecen ejemplares aislados de encina entre los bloques peridotíticos. Es posible que, con independencia de la toxicidad de los suelos serpentínicos, esta especie encuentre su mejor refugio en la crestería de la Sierra de la Palmitera, donde se beneficia de un aporte hídrico extra debido a la criptoprecipitación, y se mantiene a resguardo del diente del ganado y de los recurrentes incendios forestales.

A su vez, la presencia de matorral serial propio de los bosques serpentinófilos de *Abies pinsapo* en este particular nicho ecológico puede interpretarse como evidencia de la existencia potencial o pretérita de un abetal en determinadas ubicaciones topográficas de la Sierra de la Palmitera.

### **3.5. Aproximación a las actividades y usos antrópicos**

El ámbito denota una escasa presencia humana. Se ha realizado un reconocimiento arqueológico superficial en el que no se han detectado signos de actividad antrópica dada la ausencia de restos cerámicos y elementos construidos. Estos resultados provisionales resultan controvertidos dada la existencia de una importante red de asentamientos en altura distribuida por las cumbres de Sierra Bermeja, incluida la Sierra Palmitera (a 1.372 m.s.n.m. se levanta el asentamiento altomedieval del Castillejo de los Negros, a escasos 2,7 km de longitud al sur de la cuenca) (Navarro et al., 1996). Por otra parte, al sureste, en el valle del río Guadaiza y a una distancia de 2,5 km, se encuentra el despoblado bajomedieval de Daidín. En cualquier caso, los usos y actividades antrópicas quedan limitados a una testimonial ganadería extensiva ovina y caprina.

## **4. CONCLUSIONES**

Entre los resultados del trabajo destacan el descubrimiento científico y la caracterización geográfica preliminar de una cuenca endorreica que por su naturaleza litológica resulta de gran interés en el contexto de los afloramientos ultramáficos ibéricos. A pesar de sus reducidas dimensiones, la cuenca endorreica presenta una compleja estructura y dinámica vegetal; representa un enclave refugio para especies que actualmente tienen una escasa presencia en el conjunto de Sierra Bermeja, caso de *Quercus rotundifolia*. Asimismo, destaca la presencia de comunidades y taxones bioindicadores del pinsapar de *Abies pinsapo*, especie de abeto ausente en la actualidad en la cumbre de la Sierra de la Palmitera. Estos hechos reavivan la controversia biogeográfica latifolias-coníferas sobre sustratos ultramáficos en clima mediterráneo. En próximas investigaciones se atenderán aquellos aspectos que ayuden a comprender la génesis geomorfoedáfica, la fitogeografía y la paleoecología del ámbito de estudio.

## **AGRADECIMIENTOS**

Los resultados de esta investigación forman parte del Proyecto de I+D ULTRAFORRESTS (CSO2013-47713-P) subvencionado por el Ministerio de Economía y Competitividad del Gobierno de España. Agradecemos la utilización de los laboratorios a los departamentos de Edafología, Química Inorgánica y Análisis Geográfico Regional y Geografía Física de la Universidad de Granada, así como la colaboración de Andrés Pérez Latorre (UMA) e Ildfonso Navarro Luengo (Ayuntamiento de Estepona).

## **5. BIBLIOGRAFÍA**

- Aguilar, J., Calvo, R., Fernández, E., Macías, F. (1998): "Geoquímica de la alteración y edafogénesis de rocas serpentinizadas de la Sierra Bermeja (Málaga)". *Edafología*, 5, 135-151.
- Asensi, A., Díez-Garretas, B. y de la Fuente, V. (2004): Vegetation of ultramafic rocks in the Iberian Peninsula. En Boyd, R.S., Baker, A.J.M., Proctor J., Eds. *Ultramafic Rocks: Their Soils, Vegetation, and Fauna*. St. Albans, Herts (UK), Science Reviews, 137-143.
- Brooks, R. R., Dunn, C. E., Edmonson, J., Targuisti, K., Asensi, A., Reeves, R. D. (1995): "Phytosociological and biogeochemical observations on the serpentinite vegetation of the Betic Riffian ultramafic arc of Spain and Morocco". *Ofioliti*, 20 (2), 67-79.
- Cabezudo, B., Pérez-Latorre, A., Navas, P., Gil, Y., Navas, D. (1998): Paraje Natural de los Reales de Sierra Bermeja. Cartografía y Evaluación de la flora y vegetación. Málaga, Universidad de Málaga.
- Carcaillet, C., Thimon, M. (1996): "Pedoanthracological contribution to the study of the evolution of the upper treeline in the Maurienne Valley (North French Alps): methodology and preliminary results". *Review of Palaeobotany and Palynology*, 91, 399-416.
- Dorman, C. E., Beardsley, R. C., Limeburner, R. (1995): "Winds in the Strait of Gibraltar". *Q. J. R. Meteorol. Soc.* 121, 1903-1921.
- FAO (2014): World reference base for soil resources. Rome, United Nations.

- Gómez-Zotano, J. (2004a): El papel de los espacios montañosos como traspais del litoral mediterráneo andaluz: el caso de Sierra Bermeja (provincia de Málaga). Granada, Universidad de Granada.
- Gómez-Zotano, J. (2004b): “Controversia árboles latifolios-versus coníferas en Sierra Bermeja, una montaña ultramáfica del sur de España». En Boyd, R. S., Baker, A. J. M., Proctor J. (Eds.) Ultramafic Rocks: Their Soils, Vegetation, and Fauna. St. Albans, Herts (UK), Science Reviews, 151-156.
- Gómez-Zotano, J., Román-Requena, F., Hidalgo-Triana, N., Pérez-Latorre, A. V. (2014): “Biodiversidad y valores de conservación de los ecosistemas serpentínicos en España: Sierra Bermeja (provincia de Málaga)”. Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles, 65, 187-206.
- Gómez-Zotano, J., Alcántara-Manzanares, J., Olmedo-Cobo, J.A., Martínez-Ibarra, E. (2015a): “La sistematización del clima Mediterráneo: Identificación, clasificación y caracterización climática de Andalucía (España)”. Revista Norte Granda, en prensa.
- Gómez-Zotano, J., Román Requena, F., Thorne, J.H. (2015b): “Attributes and roadblocks: a conservation assessment and policy review of the Sierra Bermeja, a Mediterranean serpentine landscape”. Natural Areas Journal, 35(2), 328-343.
- Ibarra-Benlloch, P. (1989): “La influencia de los vientos del estrecho de Gibraltar en la vegetación arbórea”. Cuadernos de Geografía, 1, 61-84.
- López, J. (coord.) (2013): Los pinsapares en Andalucía (*Abies pinsapo* Boiss.): Conservación y sostenibilidad en el siglo XXI. Córdoba, Servicio de Publicaciones de la Universidad de Córdoba.
- Mota, J. F., Medina-Cazorla, J. M., Navarro, F. B., Pérez-García, F. J., Pérez-Latorre, A. V., Sánchez-Gómez, P. (2008): “Dolomite flora of the Baetic Ranges glades (South Spain)”. Flora, 203, 359-375.
- Navarro Luengo, I. et al. (1996): “Aproximación a la dinámica poblacional del litoral occidental malagueño durante la Antigüedad: de Roma al Islam”. Actas del I Congreso de Historial Antigua de Málaga y su provincia. Málaga, 189-203.
- Pérez-Latorre, A. V., Hidalgo-Triana, N., Cabezudo, B. (2013): “Composition, ecology and conservation of the south-Iberian serpentine flora in the context of the Mediterranean basin”. Anales Jard. Bot. Madrid, 70 (1), 62-71.
- Rivas-Goday, S. (1969): “Flora serpentínicola española, nota primera (Edafismos endémicos del Reino de Granada)”. Anales Real Academia de Farmacia, 35, 297-304
- Rivas-Martínez, S. (2011): “Memoria del Mapa de Vegetación Potencial de España. Itinera Geobotanica 18, 5-800.
- Rufo, L., Rodríguez, N., Fuente, V. (2005): Análisis comparado de metales en suelos y plantas de la Sierra Bermeja. En Jiménez, R., Álvarez, A.M., Eds. Proceedings II Simposio Nacional de Control de la Degradación de Suelos. Madrid, Universidad Autónoma de Madrid, 197-201.
- Schweingruber, F. H. (1990): Microscopic wood anatomy: structural variability of stems and twigs in recent and subfossil woods from Central Europe. Swiss, Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research.
- Schweingruber, F.H. (1990): Anatomie of European woods. Bern, Paul Haupt.
- Talon, B., Carcaillet, C., Thion, M., (1998): “Études pédoanthracologiques des variations de la limite supérieure des arbres au cours de l’Holocène dans les Alpes françaises”. Géographie physique et Quaternaire, 52 (2), 195-208.
- Thion, M. (1992): L’analyse pédoanthracologique, aspects méthodologiques et applications. PHD dissertation, Univ. Aix-Marseille III.
- Valladares, A. (2009): 9520 Abetales de *Abies pinsapo* Boiss. En: VV.AA., Bases ecológicas preliminares para la conservación de los tipos de hábitat de interés comunitario en España. Madrid, Dirección General de Medio Natural y Política Forestal, Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino, Sección Bosques.
- Vernet, J. L., Ogereau, P., Figueiral, I., Machado, C., Uzquiano, P. (2001): Guide d'identification des charbons de bois préhistoriques et récents, Sud-Ouest de l'Europe: France, Péninsule ibérique et Îles Canaries. Paris, CNRS.
- Yusta, A., Berahona, E., Huertas, F., Reyes, E., Yáñez, J., Linares, J. (1985): “Geochemistry of soils from peridotite in Los Reales, Málaga”. Acta Mineralogica Petrographica, 29, 439-498.