



XXV REUNIÓN NACIONAL DE LA SOCIEDAD ESPAÑOLA DE LA CIENCIA DEL SUELO

ALMERÍA

SEPTIEMBRE DE 2005

Cuaderno de campo y resúmenes de trabajos



UNIVERSIDAD DE ALMERÍA



ctap

ÍNDICE

EXCURSIONES

21 de septiembre

Visita a invernaderos	1
Visita a la Estación Experimental de Rambla Honda	7

22 de septiembre

Visita a suelos salinos de Cabo de Gata	31
Visita a suelos volcánicos de Cabo de Gata	43

23 de septiembre

Visita a una catena de suelos en Sierra de Filabres	47
Visita a las canteras de mármol de Macael	55

RESÚMENES DE LOS TRABAJOS PRESENTADOS	63
---------------------------------------	----

21 DE SEPTIEMBRE

VISITA A LOS INVERNADEROS

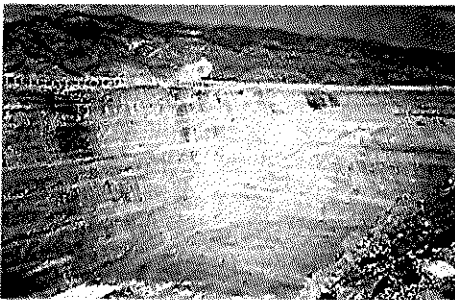
VISITA A LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL DE RAMBLA HONDA

INVERNADEROS

I.- ESTRUCTURAS

Los principales problemas con que debían enfrentarse las pequeñas huertas de la costa y de la Alpujarra almeriense derivaban de la gestión adecuada del riego, dadas las condiciones de calidad y cantidad de agua disponible, la intensa evapotranspiración existente y la presencia casi continua de viento, con una componente preferente del oeste que, además de su efecto mecánico, acentuaba aún más si cabe dicha evapotranspiración.

Para combatir tales problemas, se hace común la aparición de cortavientos en la dirección de los vientos dominantes, generalmente contruidos con cañizo, y la técnica del enarenado, entendida como una forma de acolchado que consiste en aportar una capa superficial de arena de playa con objeto de reducir la evaporación de agua y aumentar la eficiencia del riego, inclusive con aguas de mala calidad. Estas son, según muchos autores, las estructuras precursoras de los actuales invernaderos.



La calidad del suelo para cultivo hortícola, sobre todo en la zona costera del poniente almeriense, es muy escasa: o bien aparece un contacto lítico a escasos centímetros de la superficie o las propiedades químicas del suelo lo hacen desaconsejable para tal uso. Por ello, y dado el valor de los productos cultivados, algunos agricultores, imitando prácticas tradicionales de la costa granadina, optaron por aportar sustrato extraído de canteras a tal efecto. Dicho sustrato, conocido en la zona como “tierra de cañada”, es de textura arcillosa, con una fertilidad química elevada y alta capacidad de retención de agua, aunque con tendencia al encharcamiento. Los aportes de sustrato realizados solían tener una profundidad aproximada de unos treinta centímetros.

Por aquel entonces aún predominaban en Almería las técnicas agrícolas tradicionales, en las que el estiércol constituía la fuente principal de nutrientes para el cultivo. Sobre la base aportada artificialmente, los agricultores distribuían una nueva capa de estiércol de pocos centímetros de espesor, sin mezclar con el sustrato subyacente y, sobre ésta, aportaban la arena que serviría de acolchado. Esta distribución en tres capas es lo que conocemos y exportamos como enarenado almeriense. Según el conocimiento popular, el cultivo extraía agua de la tierra de cañada, agua y nutrientes del estiércol y aire de la capa de arena.



Por otro lado, el cultivo de la uva en emparrado era una de las principales fuentes de riqueza de la Alpujarra almeriense hasta bien entrado el siglo XX. Dicho emparrado constaba de una estructura de rollizo de madera, anclada al suelo con o sin cimentación, sobre la que se situaba un mallado de alambre que constituía el soporte de los sarmientos de la parra. Dado que el cortavientos de cañizo tenía sus limitaciones, la migración de la estructura del emparrado con malla o plástico hacia la producción hortícola como forma de protección frente al viento sólo fue cuestión de tiempo. Surge así el invernadero tipo parral almeriense, estructura que se ha mantenido productiva durante la mayor parte de la historia de los invernaderos almerienses y de la que aún quedan algunos ejemplos en producción.

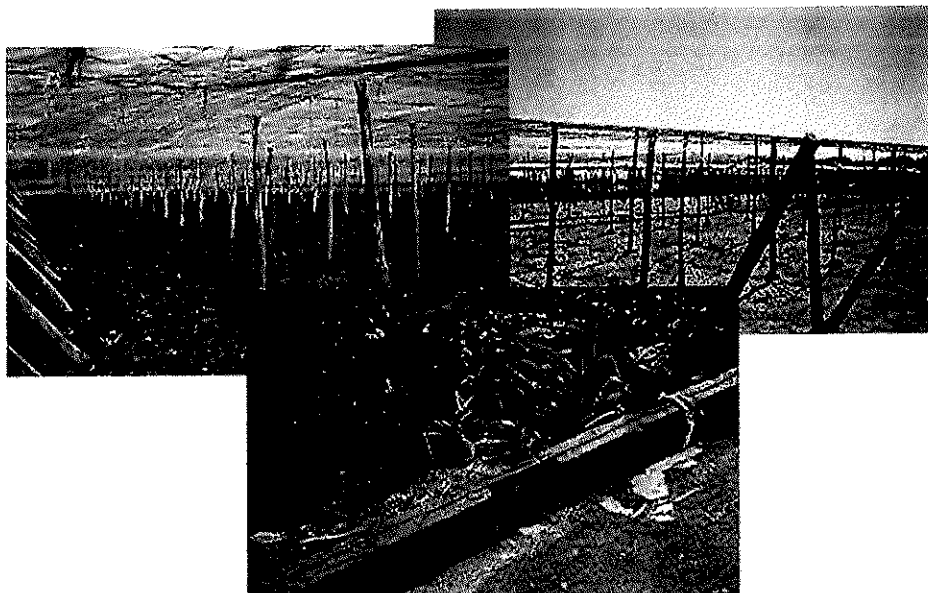


Figura 1.- Izquierda: interior de un parral almeriense. Derecha: estructura de parral almeriense. Abajo: Detalle del primitivo sistema de riego por inundación.

De forma resumida, un parral típico almeriense consta de una estructura de pilares de rollizo de madera cimentada en el suelo, con un perímetro lateral de rollizos inclinados e igualmente cimentados, sobre la que se sitúa una doble malla plana de alambre entre la que se coloca el plástico. Los pilares, además, soportan la estructura de alambre sobre la que se entutorará el cultivo. Estos primeros invernaderos, de poca altura, únicamente disponían de una ventilación lateral, poco eficiente según los criterios actuales, lo que les confería poca inercia térmica. Al mismo tiempo, al ser la cubierta plana, el agua de lluvia penetraba en el invernadero, comprometiendo el estado sanitario del cultivo.

Una de las primeras mejoras realizadas sobre la estructura tradicional consistió precisamente en aumentar la altura y en evitar el techo plano. La nueva estructura se conoce como parral multicapilla simétrico o, más comúnmente, invernadero tipo raspa y amagado almeriense. La diferencia fundamental con la estructura anterior consiste en que los pilares de madera (raspa) aumentan su altura y, entre líneas de pilares, la cubierta se tensa hacia abajo mediante tensores de alambre (amagado), de forma que el aspecto de la cubierta del invernadero es el de una especie de capillas paralelas. Bajo el plástico, en la zona del amagado, se colocan canaletas que recogen el agua de lluvia y la evacúan del invernadero.

Sobre este tipo de estructura se han realizado notables avances destinados fundamentalmente a optimizar las condiciones microclimáticas interiores y, de manera asociada, a mejorar el control fitopatológico. La altura actual de los invernaderos de raspa y amagado ronda los 4 metros bajo la canaleta de recogida de pluviales, y los 4,5 metros en cumbre. La ventilación puede ser activa o pasiva; esta última consta de ventanas laterales y cenitales la mayor parte de las veces motorizadas y, en algunos casos automatizadas mediante el empleo de sensores de temperatura y humedad. La ventilación activa, minoritaria aún, se realiza mediante electroventiladores y está automatizada en su totalidad.

Las estructuras de madera tradicionales se han ido sustituyendo progresivamente por las de acero galvanizado y las mejoras tecnológicas en los plásticos (polietileno) han sido espectaculares, tanto en cuanto a duración como en cuanto a su capacidad térmica y fotoselectiva, lo que redunda positiva y directamente en el control microclimático y fitosanitario.

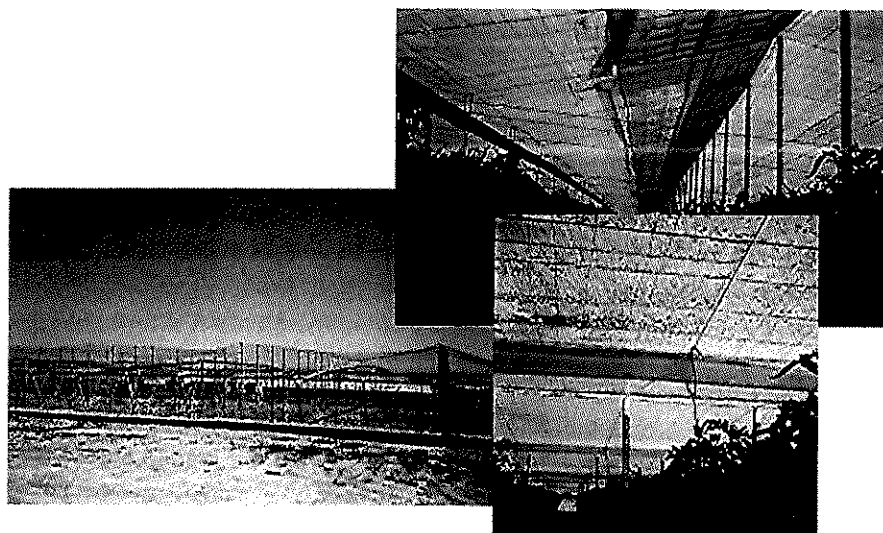


Figura 2.- Izquierda: estructura de un invernadero tipo raspa y amagado. Derecha arriba: detalle de la raspa (pilar), ventilación cenital y amagado con canaleta para evacuación de agua. Derecha abajo: detalle de amagado con canaleta de plástico

Con objeto de aprovechar al máximo la radiación solar, se desarrollaron estructuras con cubiertas asimétricas en las que la superficie orientada al sur era máxima y la orientada al norte, con más pendiente, mínima. No obstante este tipo de invernadero asimétrico no ha tenido una notable implantación en la horticultura almeriense. Sin embargo, en la actualidad parece observarse cierta tendencia a la sustitución del invernadero de raspa y amagado por un nuevo tipo, el invernadero multitúnel en el que el control climático activo es más adecuado. Esta estructura está constituida por numerosos módulos o capillas de unos 8 o 10 metros de ancho, unidas entre sí de forma paralela a su eje longitudinal, con una altura que ronda los 4 metros bajo las canaletas de evacuación de aguas pluviales y 5 metros en cumbre. La ventilación suele ser lateral y cenital, esta última mediante ventanas de medio arco con sistema de cremallera, activado por motorreductores automatizados. A diferencia de las estructuras anteriores, los invernaderos multitúnel admiten la colocación de planchas onduladas de policarbonato transparente, normalmente en las paredes laterales, aunque lo más común es que tanto los laterales como la cubierta sean de plástico.

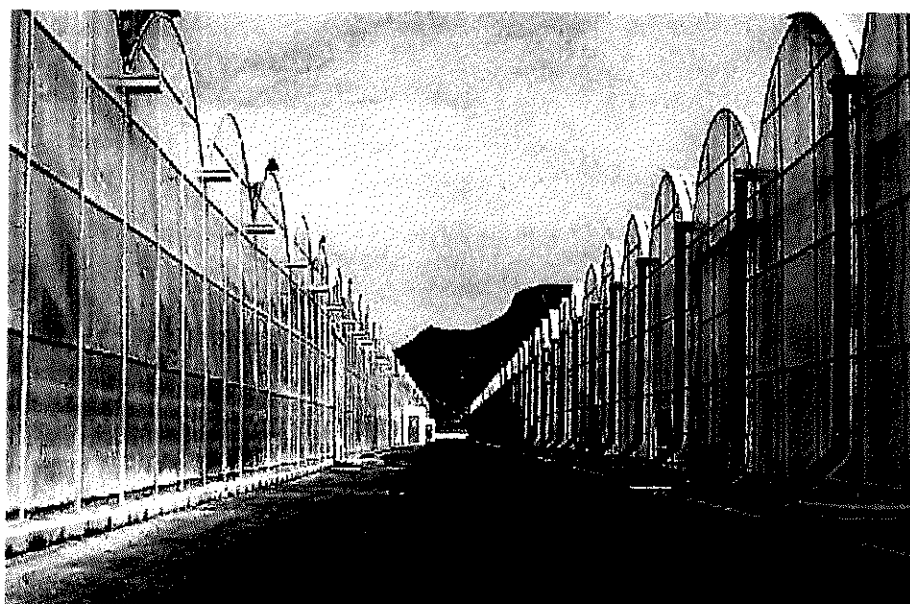


Figura 3.- Invernaderos tipo multitúnel

II.- FERTIRRIEGO

Como se mencionó anteriormente, inicialmente la base de la fertilización en los enarenados almerienses era el estiércol. La operación de “retranqueo” o reposición de estiércol bajo la arena era una operación habitual pero excesivamente costosa, dado el esfuerzo que constituía separar la arena, aportar el estiércol y demás abonado de fondo y volver a colocar la arena en su sitio. La introducción del sistema de riego por goteo y la incorporación masiva de fertilizantes solubles posibilitó la sustitución progresiva del estiércol como fuente de nutrientes. El abonado en estas nuevas condiciones, inicialmente se realizaba con abonadora, sistema poco preciso que consistía en colocar el fertilizante soluble en un recipiente con forma de barril, capaz de soportar la presión de riego. El agua penetraba en dicho recipiente, disolvía las sales fertilizantes y salía hacia la red de riego de la parcela, con lo cual la distribución de elementos nutritivos durante el periodo de riego era notablemente irregular, lo que provocaba que parte de los mismos se perdieran para el cultivo por lavado posterior del bulbo húmedo. Otra dificultad inherente a este método se derivaba de la imposibilidad de mezclar en un mismo turno de riego elementos fertilizantes incompatibles entre sí para obtener una solución nutritiva equilibrada.

No obstante, dadas las dificultades de precisión en el abonado con abonadora, el estiércol seguía empleándose aunque los “retranqueos” se espaciaban cada vez más en el tiempo y, a veces, eran sustituidos por las denominadas “carillas”, técnica que consiste en aportar estiércol exclusivamente debajo de la línea portagoteros.

El siguiente avance en la dosificación del abono soluble fue la aparición del abonado mediante tanques o venturi manual. En el cabezal de riego, el agricultor disponía de varios tanques (dos o tres) en cada uno de los cuales realizaba una disolución concentrada (denominada madre, hasta 1000 veces concentrada) de fertilizantes compatibles entre sí. Posteriormente, mediante el efecto Venturi, ayudándose de válvulas venturi dotadas con caudalímetros que ajustaba manualmente, introducía la cantidad necesaria de fertilizante de cada uno de los tanques para obtener una solución nutritiva equilibrada. La precisión en los aportes de fertilizantes aumentó notablemente, pero la técnica exigía el uso de fertilizantes altamente solubles dadas las concentraciones empleadas en los tanques madre.



Figura 4.- Sistema dosificador mediante venturi manual.

El desarrollo tecnológico antes apreciado en estructuras y plásticos, también llegó a los sistemas de riego. Basándose en el sistema de fertilización mediante tanques, el siguiente avance consistió en la automatización del proceso mediante el empleo de sondas de pH y conductividad eléctrica y programadores que controlaban electroválvulas conectadas a los tanques. De forma

muy resumida, el sistema funciona así: la preparación de los tanques madre es básicamente la misma aunque se incorpora de forma sistemática un nuevo tanque que contiene únicamente ácido nítrico para el control de pH. Los tanques están conectados mediante electroválvulas a un tanque de mezcla dotado con sensores de pH y conductividad eléctrica que mandan información en tiempo real a un programador el cual, a su vez, controla las electroválvulas antes mencionadas. En función de los valores de pH en el tanque de mezcla, suministrados por la sonda de pH, y el intervalo admisible establecido por el agricultor, el programador regula la entrada de ácido nítrico a la mezcla. Del mismo modo, pero esta vez en función del porcentaje con que cada tanque debe contribuir a la conductividad eléctrica final de la mezcla, el programador introduce solución madre hasta alcanzar el valor de CE establecido por el agricultor o el técnico.

Un paso más, poco implantado en la actualidad, es la sustitución de las electroválvulas por inyectores que directamente introducen la cantidad precisa de fertilizante en la corriente de riego. Con este sistema se obtiene un grado de control óptimo en la composición química de la solución nutritiva final.

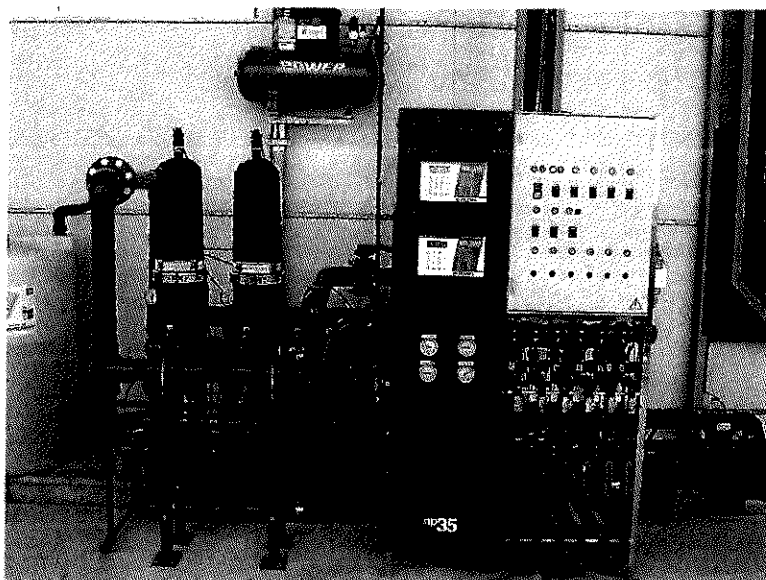


Figura 5.- Cabezal de riego dotado de programador.

SISTEMAS DE CULTIVO

Inicialmente la base de cultivo era el suelo, considerado como parte integrante fundamental del sistema de cultivo y fuente de nutrientes para la planta, por lo cual recibía un tratamiento racional en que la base orgánica era prioritaria en los programas de fertilización.

El desarrollo de nuevas tecnologías en sistemas de riego y fertilizantes y la adopción de variedades altamente productivas, pero exigentes en nutrientes, derivó en la necesidad de un mayor control de la solución fertilizante que llegaba a la planta. Poco a poco, el concepto que técnicos y agricultores tenían del suelo como base de la fertilidad del sistema fue migrando hacia el concepto de mero soporte para los vegetales, y la consideración de algunas de sus propiedades, tales como la CIC, la capacidad tampón, etc., empezó a trocarse en estorbo para conseguir la solución nutritiva óptima.

Por otro lado, el abandono de rotaciones de cultivo y la utilización reiterada de las mismas variedades campaña tras campaña agudizaron los problemas fitopatológicos asociados al suelo,

algunos de los cuales, tales como los ocasionados por *Fusarium* sp. o nematodos, resultaban extremadamente pertinaces y originaban pérdidas económicas importantes.

Desde nuestro punto de vista, la solución propuesta para paliar en parte estos problemas fue una huída hacia delante, propiciada por el gran soporte tecnológico con que cuenta este tipo de agricultura: el cultivo hidropónico. Esta forma de cultivo prescinde completamente del suelo, sustituyéndolo, en el mejor de los casos, por un sustrato inerte tal como perlita o lana de roca o directamente cultivando a raíz desnuda sobre una corriente continua de solución fertilizante.



Figura 6.- Cultivo hidropónico. A la derecha, detalle de una bandeja de drenaje.

La forma tradicional de cultivo, en sacos de perlita o bloques de lana de roca, es a solución perdida, esto es, el sobrante de solución no utilizada por el cultivo drena libremente al suelo desde los sacos, infiltrándose en profundidad. Los sistemas recirculantes aún no se han establecido comercialmente en la mayoría de los invernaderos.

Las ventajas de este sistema de cultivo son indudables si se tienen en cuenta los parámetros de calidad impuestos por el comercio internacional sobre los productos hortofrutícolas, puesto que permite suministrar al vegetal una solución nutritiva absolutamente controlada cuyo resultado se traduce en frutos muy homogéneos en color, calibre, firmeza y peso. Sin embargo, el alto grado de artificialidad en la producción trae aparejado un desequilibrio drástico del sistema de cultivo que debe ser compensado con el uso continuado de agroquímicos; el abuso de estos compuestos durante años ha forzado al sector hortícola almeriense a extremar las medidas de control de límites de residuos para obtener las certificaciones de calidad exigidas por el comercio internacional para seguir exportando.

ESTACIÓN EXPERIMENTAL DE "RAMBLA HONDA" (ALMERÍA)

Estación Experimental de Zonas Áridas (EEZA), CSIC

<http://www.eeza.csic.es>

J. Puigdefábregas, G. del Barrio, Y. Cantón, S. Contreras, M.A. Domené, F. Domingo, L. Gutiérrez, R. Lázaro, A. Solé Benet, S. Vidal, L. Villagarcía, A. Were

1.- Introducción

El Área Experimental de *Rambla Honda* es una instalación permanente, mantenida y gestionada por el Departamento de Desertificación y Geoecología de la EEZA-CSIC. *Rambla Honda* fue iniciada en 1989 dentro de un Subproyecto del Programa LUCDEME y se consolidó como facilidad normalizada en el marco del Proyecto MEDALUS, y ha funcionado sin interrupción desde entonces asociada a otros proyectos de investigación. Está enfocada hacia las interacciones entre vegetación, hidrología y procesos geomorfológicos en un clima mediterráneo seco. El problema científico básico es la respuesta de territorios semi-naturales áridos frente al abandono y al cambio climático. Las escalas de trabajo cubren todos los niveles entre parcela y paisaje.

Los productos generados incluyen series temporales de variables geoecológicas, facilidades logísticas para el desarrollo de experimentos, un extenso conocimiento local y regional, y el desarrollo de instrumentos. Los usuarios inmediatos son grupos de investigación. Los destinatarios de la información producida son organizaciones internacionales como la Convención de las Naciones Unidas para la Lucha contra la Desertificación y administraciones públicas nacionales como el Programa Nacional Español de Lucha contra la Desertificación.

El Área Experimental de *Rambla Honda* alberga proyectos específicos a corto plazo, entre cuyos objetivos destaca identificar procesos relevantes en la dinámica de paisajes semiáridos. En la mayoría de los casos la aproximación combina la observación de campo con la experimentación. Los resultados favorecen la evolución de modelos de cambio en el paisaje como respuesta a factores climáticos o de uso del suelo. A su vez, la información añadida a la base de datos estimula nuevas investigaciones.

Las instalaciones cubren 26 hectáreas, y están registradas en un Sistema de Información Ambiental a 1 metro de resolución. Ambas están cubiertas por un sistema integrado de control remoto y monitorización que permite recibir datos y controlar su adquisición en tiempo real. Este sistema ha sido desarrollado conjuntamente con el Grupo de Instrumentación de la EEZA, y permite la publicación en Internet de datos e imágenes en tiempo real (<http://rhonda.eeza.csic.es>).

Una selección de variables meteorológicas, hidrológicas y ecológicas es monitorizada a varias escalas temporales y espaciales en el Área Experimental. En ambientes áridos, las escalas temporales más finas son esenciales para obtener información sobre eventos extremos, como la precipitación, que son los factores principales que explican el cambio en el paisaje. Por otra parte, las escalas temporales menos detalladas permiten la detección de respuestas al cambio global.

La monitorización a largo plazo en las instalaciones pretende identificar respuestas a la variabilidad climática y al abandono agrícola en tierras marginales. Entre las variables que se

registran regularmente se encuentran: la meteorología básica; escorrentia y producción de sedimentos a varias escalas espaciales; propiedades hidrológicas y humedad del suelo. Durante varios años se han registrado también balances y flujos de biomasa vegetal, tales como productividad primaria neta, necromasa y mantillo.

2.- Situación del área experimental y su entorno

El área experimental de Rambla Honda (fig. 1) se sitúa en la margen derecha de la Rambla Honda, un cauce efímero bastante encajado que drena un área de 30,6 km² en la vertiente Sur de la Sierra de Los Filabres. El área experimental forma una catena de vegetación dispersa y suelos que se extiende desde el cauce actual de la rambla, a 600 m s.n.m., hasta el parteaguas a 800 m.

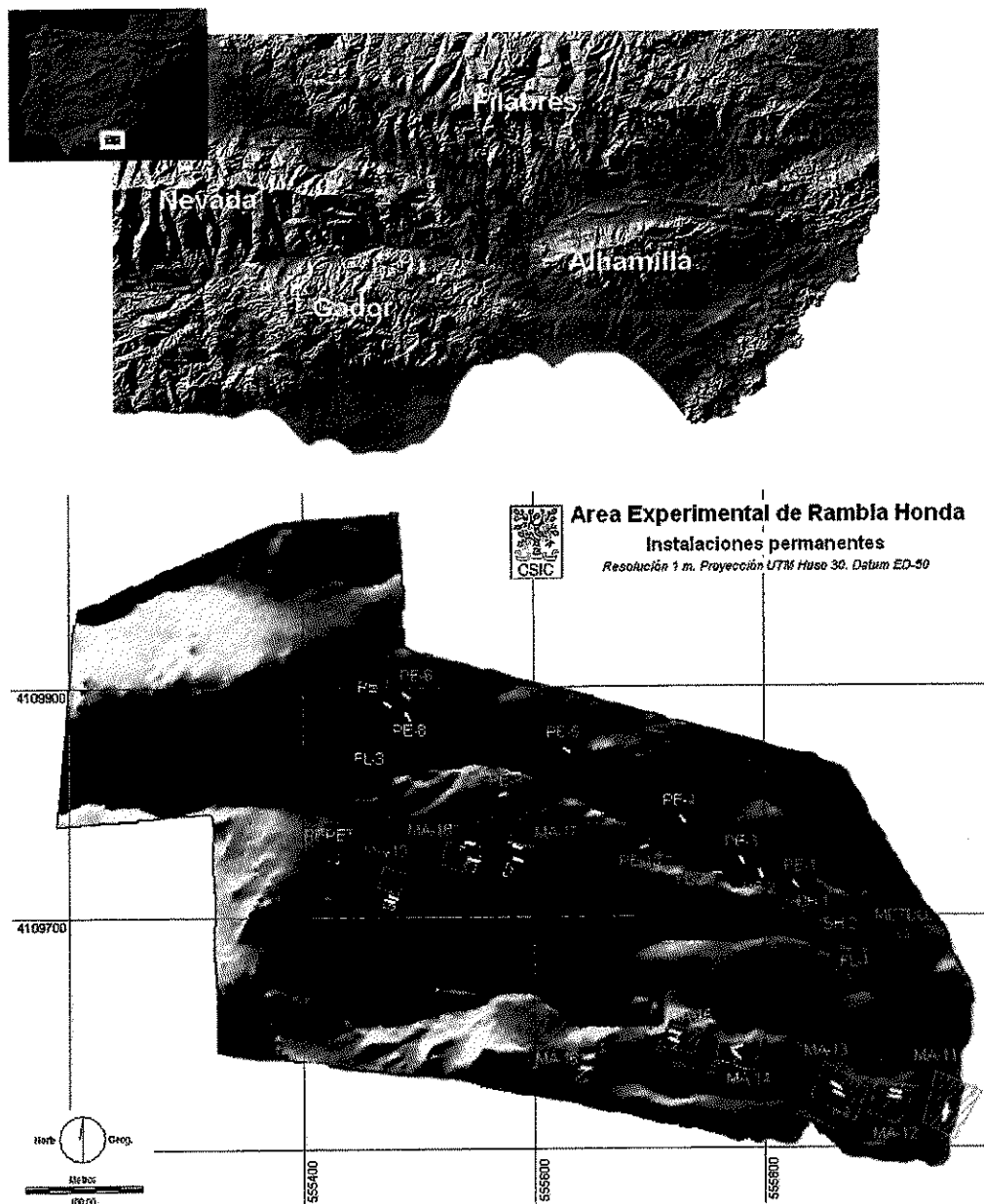


Figura 1.- Mapas de localización y de infraestructuras del área experimental de Rambla Honda (mapas compilados a partir de MDE a resoluciones de 100 y 1 m).

El área de estudio se localiza en la zona de contacto entre la vertiente sur de la Sierra de los Filabres, esencialmente formada por rocas metamórficas del Precámbrico al Triásico (pertenecientes al complejo Nevado-Filábride) y la depresión Neógena de Sorbas-Tabernas, al Este de la Cordillera Bética. La secuencia litológica en la zona de estudio está formada por una potente y monótona serie de micasquistos gris oscuro, grafitosos, con granates y abundantes filones y venillas de cuarzo y cuarcitas, estando todo el conjunto fuertemente tectonizado (marcada esquistosidad, estructuras plegadas y cabalgamientos que producen una intensa trituración en las zonas de contacto, así como fallas y fracturas con direcciones N-S y E-W) (fig. 2). La Rambla Honda es un valle disimétrico muy encajado en los materiales descritos, con una vertiente izquierda con laderas muy escarpadas y rocosas y una vertiente derecha más suave, menos escarpada con un sistema de abanicos aluviales en su base, desarrollados desde el Pleistoceno (Harvey, 1984a) y en vías de destrucción por incisión de la red fluvial actual (fig. 3).

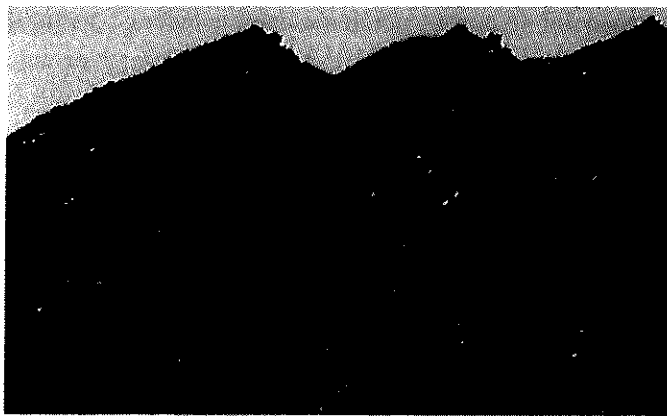


Figura 2.- Micasquistos con vetas de cuarzo y cuarcitas son la litología dominante de la zona



Figura 3.- Vista general de Rambla Honda desde la parte alta del área experimental. En primer término, espartal sobre ladera de micasquistos. En la parte media de los conos aluviales, albaidal y en la parte baja, retamar, ambos sobre campos de cultivo abandonados.

3.- Objetivos, metodologías e infraestructura científica.

Los objetivos generales que se han mantenido desde su puesta en funcionamiento han sido: I) conocer la respuesta hidrológica y erosiva ante las precipitaciones en un contexto de abandono agrícola; y II) conocer las relaciones interactivas entre procesos geomorfológicos, evolución del suelo y vegetación en medio árido y semiárido.

En el curso de los proyectos llevados a cabo total o parcialmente en sus instalaciones diversos objetivos específicos han tratado de responder a las siguientes preguntas: 1) cuál es el número mínimo de variables hidrológicas que deben intervenir en un modelo de simulación hidrológica para zonas semiáridas, 2) papel de los distintos tipos de superficie del suelo en la respuesta hidrológica de una pequeña cuenca, 3) formación de las costras filtrantes y cuál es su papel en la infiltración, escorrentía y erosión a diferentes escalas, 4) conocer las propiedades micromorfológicas, físicas y mineralógicas del suelo, 5) evolución de la humedad del suelo en condiciones naturales y agrícolas tradicionales, 6) interacciones entre escorrentía, tránsito de sedimentos y estructura espacial de la vegetación a escala de ladera, 7) cómo varía en el espacio y temporalmente la estructura y productividad de comunidades vegetales, 8) medición y modelización de la evapotranspiración real en ambientes con vegetación dispersa, 9) medición y modelización de la partición de lluvia por la vegetación (intercepción, transcolación y escorrentía cortical).

El sistema de ladera se considera un tratamiento metodológico en gran parte de los estudios realizados. Los métodos utilizados se pueden dividir en los tipos siguientes:

1) mediciones directas en el campo:

1.1) respecto a la vegetación se hicieron muestreos estratificados con objeto de recoger las variaciones particulares de cada una de las dos posiciones originadas por la vegetación dispersa, bajo matas y en claros;

1.2) respecto al suelo, una sola vez, como la densidad aparente y la conductividad hidráulica;

1.3) periódicas, bien sea manualmente, como la recogida de sedimentos procedentes de parcelas de erosión o de microcuencas, o la recogida de hojarasca, bien sea a través de sensores de tipo meteorológico o hidrológico, como los sensores de humedad del suelo, o bien mediante instrumentación como estaciones Bowen y método de correlación por remolinos ("Eddy correlation") para la medición de la ETR, etc. En distintos momentos (estacional o anualmente) se cosechaban a mano, según diseños experimentales preestablecidos (Cammaraat, 1992), distintos elementos vegetales (herbáceas, tallos, ramas, flores, necromasa, etc.) para determinar el crecimiento de las plantas, o la tasa de descomposición celulolítica en el suelo, entre otros. También ha sido necesario establecer un sistema de marcaje de detalle para llevar a cabo el seguimiento demográfico de individuos, ramas, tallos y hojas.

2) métodos de laboratorio que incluyen todas las caracterizaciones del agua de escorrentía, sedimentos y suelos, como pH, conductividad eléctrica, alcalinidad, sales totales e iones solubles, materia orgánica, composición granulométrica, estabilidad de los agregados, límites de Atterberg, ensayos geotécnicos, contenido en carbonatos totales y yeso, capacidad de intercambio catiónico, agua retenida a 0,033 MPa y 1,5 MPa, mineralogía total y de la fracción arcillosa, micromorfología óptica de suelos y rocas, etc.

3) métodos experimentales que han permitido a) obtener parámetros de infiltración y producción de sedimentos en parcelas mediante lluvia simulada; b) determinar cómo la vegetación dispersa intercepta los flujos de agua y sedimentos en una ladera.

4) sistemas de información geográfica que incluyen modelos digitales de elevaciones, hasta 1 m de resolución, y atributos topográficos.

La instalación permanente consta de:

A) una estación meteorológica en la parte baja de la cuenca donde se mide la precipitación y su intensidad, la temperatura y la humedad del aire, la dirección y la velocidad del viento, y la radiación solar global y neta.

B) 10 parcelas de escorrentía-erosión de 8 x 2 m, instaladas sobre campos de cultivo abandonados (características en tabla 1).

parcelas	altitud (m)	pendiente (%)	Cobertura plantas (%)	piedras sup. (%)	costra (%)
P1	650	12.5	40	74	0
P2	648	21	65	55	0
P3	655	27,5	20	83	0
P4	690	29	40	62	5
P5	725	33	70	63	0
P6	770	28	70	54	0
P7	773	41	90	51	0
P8	769	23	75	61	0
P9	740	35	80	29	0
P10	695	45	80	56	0
P11a	628	2	26	16	8
P11b	628	2	0	14	16
P12a	632	4	55	32	0
P12b	632	5	6	53	0
P13a	637	5	43	47	0
P13b	637	5	4	64	0
P14a	648	7	48	76	5
P14b	648	9	24	77	5
P15a	662	12	36	68	3
P15b	662	12	22	56	1
P16a	681	20	48	68	5
P16b	681	22	15	76	5
P17a	720	24	40	74	6
P17b	720	23	23	76	17
P18a	730	21	44	57	5
P18b	730	18	30	56	16
P19a	752	21	32	82	6
P19b	752	23	29	69	4

Tabla 1.- Datos esenciales de la parcelas de escorrentía-erosión de Rambla Honda.

C) tres cuencas encajadas, cada una de las cuales posee equipamiento propio consistente en: un aforador de tipo H equipado con medidor de nivel capacitivo y un balancín a la salida para medir caudales bajos, un sistema de pequeñas bombas para muestrear el caudal en diferentes momentos de la crecida (para sólidos en suspensión y disueltos) y un tanque de sedimentación a la salida del aforador (para medir el arrastre de fondo) (fig. 4). La cuenca 3 es la situada en la parte alta con una superficie de 900 m², forma la cabecera; la 2 es la intermedia con 3 ha; y la 1 es la general, con una superficie de 4,6 ha.

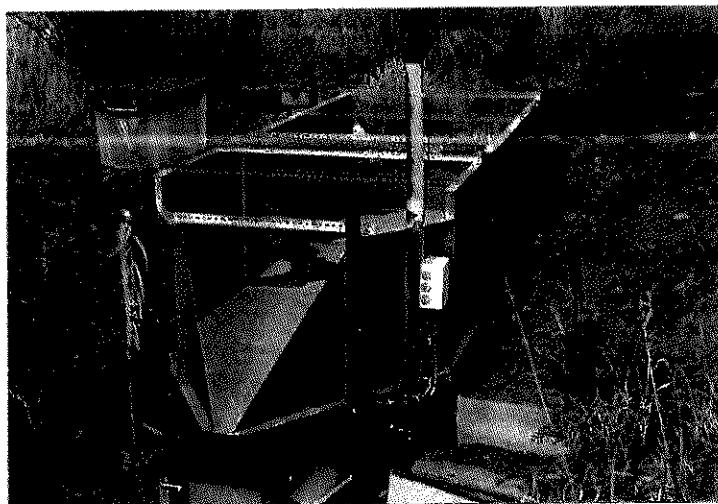
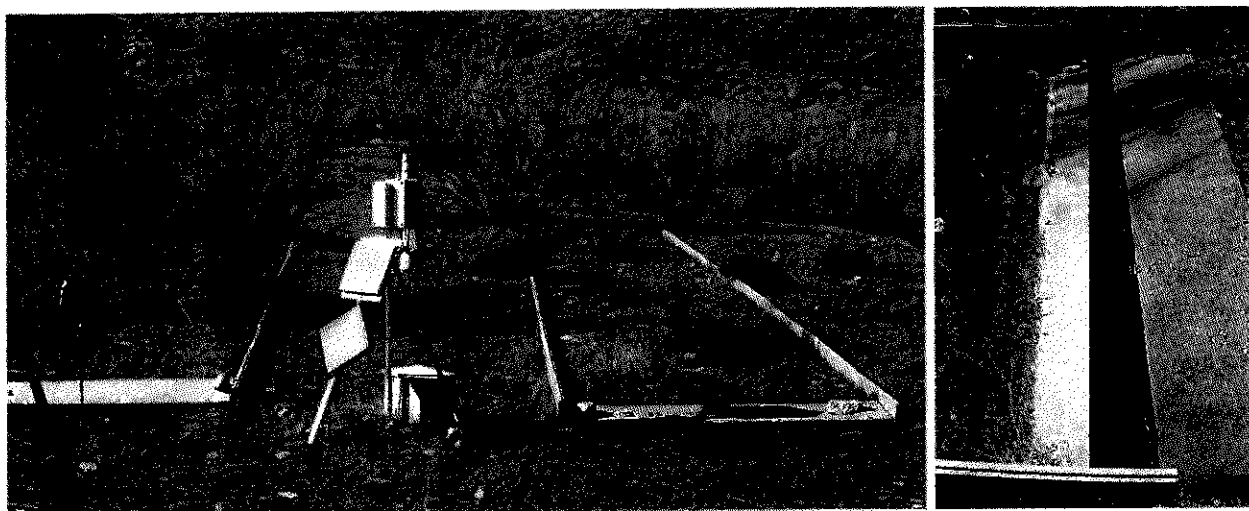


Figura 4.- Aforador tipo H de 60 cm de altura (capacidad $340 \text{ L}\cdot\text{s}^{-1}$) en la cuenca principal de Rambla Honda (4,6 ha).

D) 9 áreas de medida de $30 \text{ m} \times 30 \text{ m}$, 3 por unidad fisiográfica, dentro de cada una de las cuales hay 2 parcelas cerradas de escorrentía-erosión de $10 \times 2 \text{ m}$ (fig. 5a), una con vegetación rala y otra con vegetación densa. Cada parcela dispone en su parte inferior de un canal que recoge el agua y los sedimentos (fig. 5b) que se llevan a un doble sistema de depósitos de 200 L el primero de los cuales está equipado con un divisor de flujo. Tres pares de parcelas, una en cada unidad fisiográfica, disponen además de un balancín para registrar en continuo el flujo del agua, así como sensores que registran la humedad y la temperatura del suelo a tres profundidades.



Figuras 5a (izquierda) y 5b (derecha).- Parcelas de escorrentía-erosión de $2 \text{ m} \times 10 \text{ m}$ en la zona de medida nº12. Figura 5a: La parcela 12A tiene mayor cobertura vegetal que la 12B. Se observa al fondo un pluviómetro totalizador y en primer término un trípode que sostiene i) la caja impermeable conteniendo los dispositivos electrónicos que registran tanto la humedad del suelo como la escorrentía en continuo de las parcelas y ii) dos paneles solares que alimentan una batería de 12 V (dentro de la caja amarilla, en el suelo). Figura 5b: Detalle del canalón de recogida de agua y sedimentos.

En cada una de las áreas de medida se ha abierto, descrito y muestreado un perfil de suelo y analizado sus horizontes, determinado la conductividad hidráulica saturada con el método de Porchet modificado por Kessler y Oosterbaan (1974) así como la infiltración, escorrentía y

erosión mediante simulación de lluvia sobre superficies desnudas y vegetadas. En cada una de dichas áreas, se han llevado a cabo los numerosos muestreos sistemáticos de vegetación.

Aparte de la instalación permanente se llevan a cabo diversas acciones para complementar a las anteriores en el conocimiento geoecológico de la zona. Estas campañas específicas de medida se refieren a:

E.- Evapotranspiración: se ha desarrollado un modelo de evapotranspiración adaptado a las condiciones de cubiertas vegetales abiertas, propias de las regiones semiáridas. Dicho modelo se ha parametrizado y validado a través de una serie de experimentos de campo que permitieran su aplicación a rodales de las especies vegetales características del sudeste semi-árido español (Domingo et al., 1999; Villagarcía, 2000). En concreto se trabajó en tres aspectos del modelo: (a) balance radiativo (b) resistencias aerodinámicas del suelo y (c) resistencias superficiales del suelo. Los experimentos de campo se realizaron en parcelas representativas de *Retama sphaerocarpa*, *Anthyllis cytisoides* y *Stipa tenacissima* en el área instrumental de Rambla Honda (Tabernas, Almería). El modelo considera tres fuentes que integran el flujo evaporativo, las cubiertas vegetales, el suelo entre la vegetación y el suelo bajo el dosel de la vegetación. Opera a resolución temporal elevada (minuto-hora) y requiere información detallada, tanto meteorológica (velocidad del viento, radiación global incidente, temperatura, tensión de vapor, humedad del suelo) como fisiológica y estructural de la vegetación (Domingo et al., 1999; Villagarcía, 2000; Villagarcía et al., 2001). El modelo permite conocer, además de la ETR total, la partición de la evaporación, es decir la evaporación de cada superficie (planta, suelo bajo copa y suelo desnudo). La validación del modelo se llevó a cabo con medidas de ETR mediante dos métodos, el de Bowen (BREB: *Bowen ratio energy balance*) y el de la correlación de remolinos (*Eddy correlation o covariance*).

Para las medidas de intercepción y partición de agua de lluvia por la vegetación se realizaron experimentos tanto con lluvias naturales como con lluvia artificial simulada, en los que se midieron las variables microclimáticas y los volúmenes de cada flujo con pluviómetros de polietileno colocados bajo la vegetación.

F) Microtopografía en las 28 parcelas de escorrentía-erosión.

G) Cobertura de fragmentos líticos (gravas, piedras, etc.), distribución por tamaños y posición respecto a la superficie (encima o incrustadas), en las 28 parcelas de escorrentía-erosión.

H) Hidrofobia o repelencia al agua del suelo en diferentes campañas, mediante el método del tiempo de penetración de la gota de agua (Contreras y Solé-Benet, 2003).

I) Perturbación de la superficie de suelo (quema de la vegetación, eliminación del pavimento de piedras, labrado) y determinación de su comportamiento (escorrentía, erosión y evolución de la humedad del suelo) (Solé-Benet et al., 2002).

J) Medida de la deposición global (pH, conductividad eléctrica y alcalinidad de la precipitación y peso y mineralogía de su residuo seco) (Queralt et al., 1993).

4. Topografía

La restitución fotogramétrica de fotografías aéreas detalladas a escala 1:3500 permitió generar un mapa topográfico 1:500 de una gran parte de la zona de estudio, incluyendo toda la cuenca instrumentada (fig. 1) a partir del cual se construye un modelo digital de elevaciones (MDE) de

1 m de resolución. Del MDE se extrajeron distintos atributos topográficos como la pendiente (SLO), el área específica (ARE), el índice de humedad (ATB) y un índice de transporte potencial de sedimentos (LSF). La mayoría de dichos atributos presentan una correlación significativa con las geoformas presentes en Rambla Honda, y algunos de dichos atributos con algunas propiedades de la estructura de sus suelos, como porosidad y contenido de humedad a capacidad de campo, y también con los promedios de humedad del suelo en determinadas estaciones del año (especialmente LSF y ARE están altamente correlacionados con la humedad del suelo, como el otoño de 1994, uno de los más húmedos que se han registrado) (Puigdefábregas et al., 1998).

5.- Clima.

Los principales rasgos del clima del área son la aridez, el carácter mediterráneo y las temperaturas suaves. La aridez se debe a que la mayor parte de las precipitaciones proceden del Atlántico y las sierras béticas las interceptan al quedar el área experimental a sotavento de la circulación atmosférica dominante (Capel, 1986, Castillo, 1989). Según los índices de aridez *pluvifactor de Lang*, *índice de Martonne*, *coeficiente de Emberger*, *índice de Giacobbe* e *índice de Thornthwaite*, el territorio que incluye el área experimental se encuentra entre las zonas más áridas de la península Ibérica (Capel, 1982), e incluso de Europa (Neumann, 1961). La precipitación media anual es de 239 mm (para un registro de 30 años en la estación de Tabernas, 1967-1997) y presenta un coeficiente de variación interanual del 36% y uno mensual entre 76% y 215%. Las precipitaciones anuales oscilan entre 115 mm y 431 mm y el número de días de lluvia ($\geq 1\text{mm}$) por año oscila entre 25 y 55 (promedio = 37). Sólo un 6% de los episodios lluviosos superan los $20\text{ mm}\cdot\text{día}^{-1}$ y sólo un 0,7% supera los $50\text{ mm}\cdot\text{día}^{-1}$.

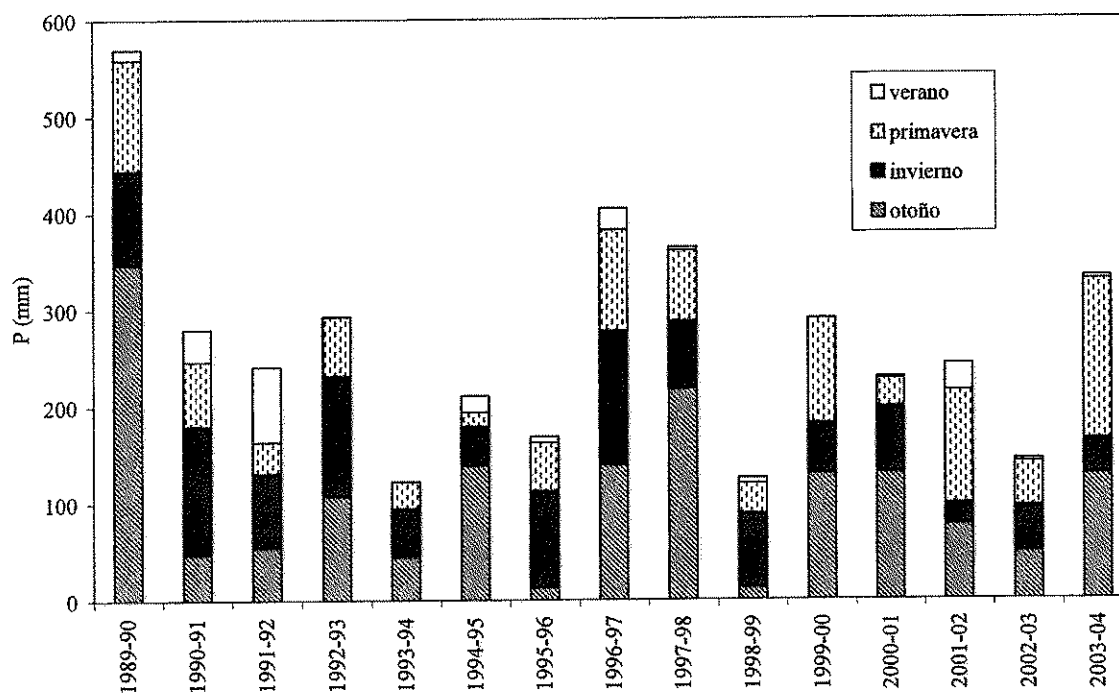


Figura 6.- Precipitación anual (año hidrológico) y estacional en Rambla Honda desde 1989/90 hasta 2003/04.

En el observatorio propio de Rambla Honda se totalizan 266,2 mm de media anual, también con un largo período de precipitaciones que va de Septiembre a Mayo o Junio, con las lluvias bastante concentradas en otoño e invierno (fig. 6). Los totales anuales han oscilado entre los 569,5 mm de 1989-90 ó los 403,9 mm de 1996-97, hasta los 122,4 mm en el 1993-94 ó 125,4 mm en el 1998-99. Intensidades máximas han sido 91,2 mm·h⁻¹ durante 5 minutos y 211,4 mm·h⁻¹ durante 44 segundos.

Una estima por el método de Blaney y Criddle modificado por Doorrenbos y Pruitt, da un total anual medio de 1666 mm de evapotranspiración potencial (ETP) para la estación de Tabernas. La ETP es siempre varias veces mayor que la precipitación (P), si bien oscila de unos años a otros, y sobre todo de unos meses a otros. En el mes con mayor cociente P/ETP, noviembre, la capacidad del medio para evaporar y transpirar es el triple de la precipitación. En el mes de julio la ETP alcanza unas 100 veces el valor de la precipitación.

Los veranos son largos y calurosos pudiéndose alcanzar temperaturas a ras de suelo de casi 60°C. Los diagramas ombrotérmicos según el modelo de Walter-Lieth de las estaciones de Tabernas (30 años) y Rambla Honda (15 años) se incluyen en la figura 7.

La media anual de temperaturas es de 16,2°C y las medias de las máximas oscilan entre 15°C en enero y 33°C en agosto y las medias de mínimas entre 19°C en agosto y 4°C en enero.

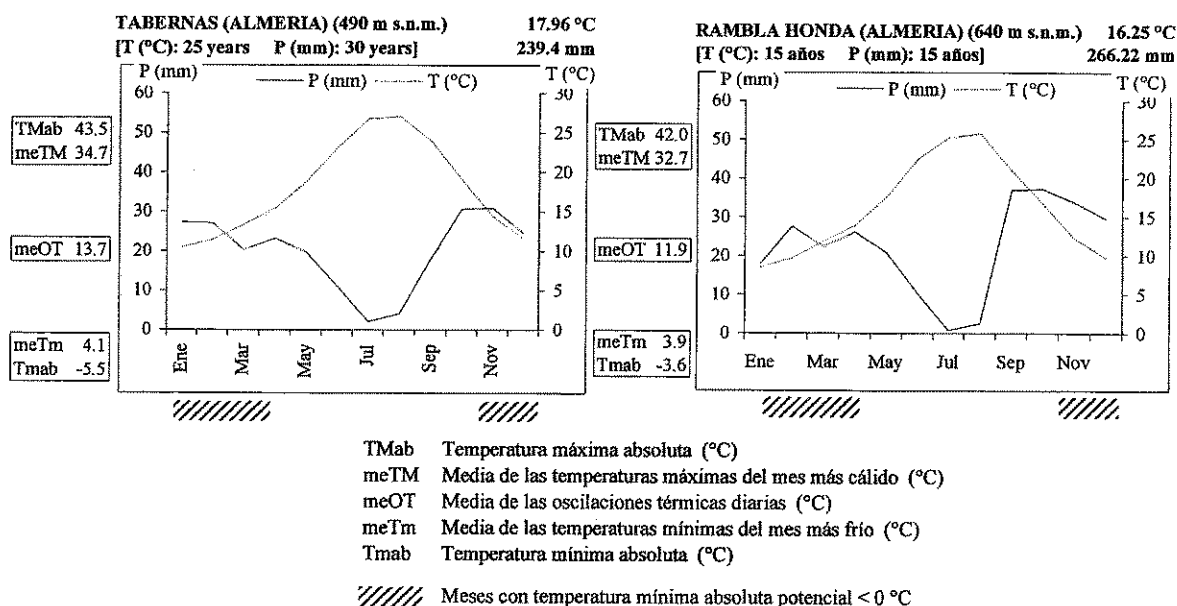


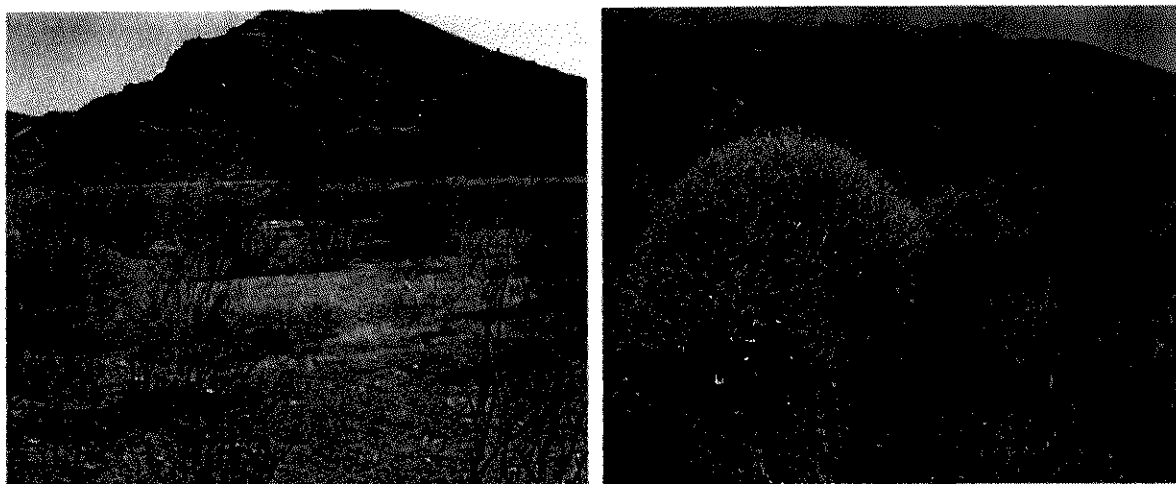
Figura 7.- Diagramas ombrotérmicos según el modelo de Walter-Lieth de las estaciones de Tabernas (30 años) y Rambla Honda (15 años).

6.- Vegetación

En la Rambla Honda los espartales, cuya extensión ha sido favorecida por el hombre, son la formación que más superficie ocupa, siendo también importantes los albardales y retamares. Terófitos y caméfitos, así como algunos hemicriptófitos y nanofanerófitos son los biotipos mejor adaptados a este entorno semiárido y templado y, en conjunto, suponen la gran mayoría de la flora vascular. Las especies anuales son tres veces más numerosas que las perennes,

aunque la mayor parte de la biomasa se debe a los arbustos y a las gramíneas vivaces que forman macollas.

En el área instrumentada la vegetación es un matorral formando tres bandas altitudinales transversales a la línea de pendiente de las laderas, con cada una de las bandas dominada por una especie distinta. En el fondo del valle y en la parte baja de los abanicos sedimentarios que se extienden por la mitad inferior de la ladera, encontramos un retamar fuertemente dominado por *Retama sphaerocarpa* (fig. 8), en el que las anuales son estacionalmente muy abundantes, estando presentes diversas especies silicícolas. En la parte alta de los abanicos aluviales se encuentra un albaidal casi puro de *Anthyllis cytisoides* (fig. 9), sobre suelos profundos y con coberturas eventualmente importantes de anuales. En la mitad superior de la ladera, con más pendiente y suelos más someros y con afloramientos rocosos, muy condicionados por la esquistosidad de la roca, la vegetación es un espartal con fuerte dominio de *Stipa tenacissima* (fig. 10) y escasas anuales, con pequeñas manchas de albaidal ocupando rellanos de menor pendiente y probablemente asociadas a los últimos enclaves que fueron cultivados.



Figuras 8 (izquierda) y 9 (derecha): Retamar (*Retama sphaerocarpa*) en la parte baja de Rambla Honda.
Albaidal (*Anthyllis cytisoides*) en la parte alta de los conos aluviales.

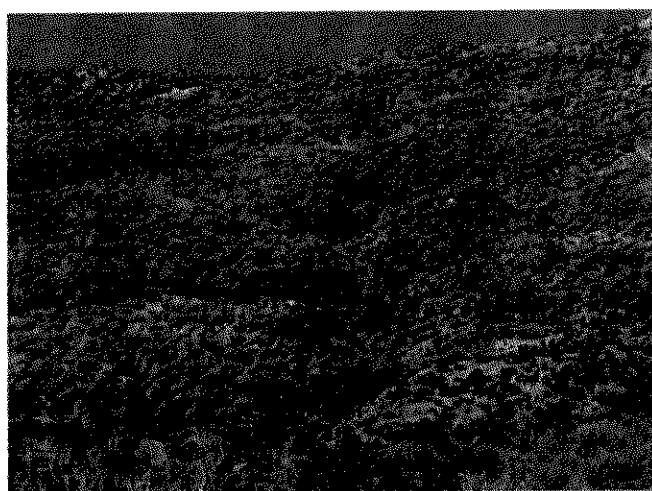


Figura 10.- Espartal (*Stipa tenacissima*) cubriendo la ladera de micasquitos.

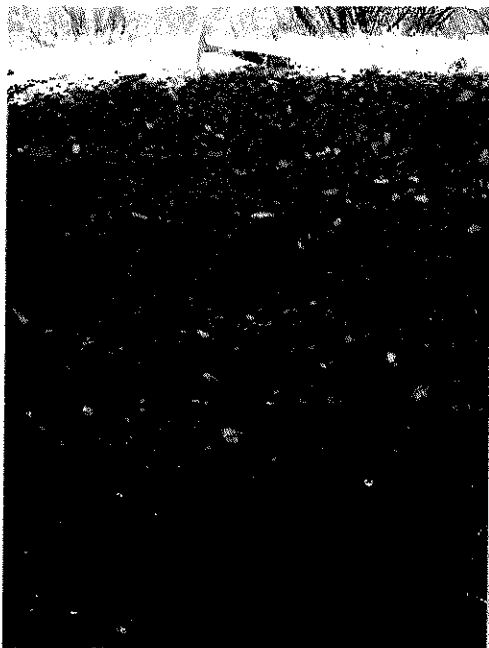
Aparte de la descripción de la dinámica de la vegetación debida a factores intrínsecos, se ha puesto especial interés en conocer la respuesta de la misma ante las propiedades y procesos

relacionados con la disponibilidad hídrica en el suelo y las variaciones que resultan de la distribución de las condiciones climáticas, especialmente de la precipitación. En el análisis de esta respuesta se ha tenido en cuenta los cambios espacio-temporales debido a la heterogeneidad de microhábitats que impera dentro del territorio. Importantes resultados sobre estos aspectos están disponibles en Gutierrez (2000).

7.- Suelos.

Los suelos son de origen coluvial y aluvial. Los del sector alto de la ladera se han desarrollado directamente a partir de micasquitos y sobre depósitos de pendiente. El espesor del suelo depende de la dureza de la roca y de la pendiente: donde abundan las venas de cuarzo dominan los afloramientos rocosos y el suelo apenas alcanza 15 cm de profundidad, (Leptosoles líticos según FAO, 1998) pero en los depósitos de pendiente sobre micasquitos menos cuarcíferos el suelo puede tener hasta 60 cm (Regosoles eútricos según FAO, 1999). Son suelos franco-arenosos, muy pedregosos, con contenidos en materia orgánica del horizonte superficial entre el 2% y el 8%, según se trate de áreas desnudas o bajo vegetación de esparto.

En el sector al pie de la ladera se han formado potentes conos aluviales (se han medido 18 m de espesor de sedimentos unas pocas decenas de metros antes de su convergencia con la rambla) formados por coluviones estratificados en lentejones que aguas abajo enlazan con las terrazas de rambla formadas por depósitos aluviales mejor estratificados. Por ello los suelos son mucho más profundos, de tipo arenoso-franco (fig. 11), también pedregosos pero disminuyendo el tamaño de los elementos líticos pendiente abajo. Tienen menor contenido de materia orgánica (entre 1,4% y 4% según se trate de áreas desnudas o bajo vegetación perenne). Los de la parte alta de los abanicos son Regosoles calcáricos y los de la baja Fluvisoles eútricos, según FAO (1999).



Figuras 11 y 12.- Figura 11 (izquierda): Perfil de suelo, de tipo AC, en la parte baja de un cono abanico en Rambla Honda. Se observa la típica estratificación en lentejones areno-gravosos y un desarrollo casi edáfico casi nulo (horizonte Ap). Figura 12 (derecha): Típico pavimento de piedras que recubre tanto los suelos del abanico aluvial como los gradines aguas arriba de las matas de esparto. El aro gris corresponde a un experimento de medida de la humedad del suelo y tiene 25 cm de diámetro.

Los suelos de ambos sectores tienen algunos atributos comunes como el pH, entre 6,5 y 7,5, baja conductividad eléctrica, entre 0,03 y 0,22 dSm⁻¹, y una reducida capacidad de intercambio catiónico, inferior a 10 cmol kg⁻¹, la presencia de un pavimento de piedras (fig. 12) y una costra filtrante subyacente (Puigdefábregas et al., 1999) (fig. 13). La estabilidad de los agregados, si bien aumenta proporcionalmente con el porcentaje de vegetación anual (especialmente *Stipa capensis*) (Pardini et al., 1991), con la proximidad a la vegetación perenne (Solé Benet et al., 2004) y la proporción de fracción fina (limo + arcilla), es en general baja comparada con suelos de otras zonas semiáridas.



Figura 13.- Fotografía de un corte de una lámina delgada del suelo en la que se observa la diferenciación textural que ha originado la costra filtrante: capas A (gravilla) y B (arena gruesa), en las que se han lavado los elementos finos, capa C (arena muy fina y limo), de acumulación.

A pesar de su elevado contenido en arena, el contenido volumétrico de agua de la tierra fina retenida entre 0,01 y 1,5 MPa es relativamente alto, entre 33% y 60%. Sin embargo, dichos valores disminuyen hasta la mitad si tenemos en cuenta los elevados valores de densidad aparente medidos en grandes volúmenes de suelo (p.e., 50 L), del orden 1,8 a 2,2 kg L⁻¹, debidos a la elevada pedregosidad, que oscila entre el 13% en la parte baja de la catena y el 60% en la parte alta.

Asimismo se ha puesto de manifiesto la existencia de hidrofobia asociada a acumulaciones de materia orgánica en superficie, ya sea de origen vegetal (mantillo) o animal (letrinas de conejos), especialmente en los suelos arenoso-francos de los conos aluviales (Contreras y Solé, 2003). Este hecho confirma las observaciones previas llevadas a cabo con simulación de lluvia (Nicolau et al., 1996) en las que la escorrentía disminuía progresivamente hasta que la repelencia al agua desaparecía.

Las tablas 2 a 5 muestran las principales propiedades de los suelos de las 9 áreas de medida (sección 3) del área experimental:

AM	Horizontes (cm)	Tipo de horizonte	Clasificación (FAO, 1991)	Espesor de suelo	Estructura		Consistencia	Poros
					Tipo	Grado		
1	0-4	A	Fluvisol eútrico	> 3 m	laminar muy gruesa	bajo	suelto	muchos
	4-11	2C			grumosa mediana	bajo	suelto	comunes
	11-42	3C			grumosa mediana	bajo	suelto	comunes
2	0-3	A11	Regosol eútrico	> 3 m	bloques subang fina	bajo	suelto	comunes
	3-34	A12			grumosa mediana	bajo	suelto	comunes
	34-60	2C			grumosa mediana	bajo	suelto	comunes
3	0-6	A11	Regosol eútrico	> 3 m	bloques subang med	bajo	suelto	pocos
	6-21	A12			bloques subang fina	bajo	suelto	pocos
	21-38	AC			bloques subang fina	bajo	suelto	pocos
4	0-4	A11	Regosol eútrico	> 1 m	bloques subang fina	bajo	blando	comunes
	4-20	A12			bloques subang med	bajo	blando	comunes
	20-50	2C			bloques subang med	moderado	ligeramente duro	comunes
5	0-3	A11	Regosol eútrico	> 1 m	laminar mediana	bajo	blando	comunes
	3-20	A12			bloques subang med	bajo	blando	comunes
	20-60	2Bca			prismática fina	moderado	blando	comunes
6	0-5	A11	Leptosol eútrico	0.25 m	bloques subang med	bajo	blando	muchos
	5-16	A12			sin estructura	-	suelto	muchos
	> 16	AC			prismática fina	moderado	ligeramente dura	pocos
7	0-5	A11	Leptosol eútrico +Leptosol lítico	0.6 m	bloques subang med	bajo	blando	comunes
	5-30	A12			prismática mediana	bajo	blando	comunes
	30-60	C			prismática mediana	bajo	blando	comunes
8	0-3	A11	Leptosol eútrico +Leptosol lítico	0.2 m	bloques subang med	bajo	blando	pocos
	3-15	A12			prismática mediana	bajo	blando	pocos
	> 15	C			prismática mediana	bajo	blando	pocos
9	0-6	A	Leptosol eútrico +Leptosol lítico	0.6 m	laminar gruesa	bajo	blando	comunes
	6-60	AC			bloques subang fina	bajo	blando	comunes

AM= Área de medida med = mediana subang = subangular

Tabla 2.- Características morfológicas y clasificación (fuente: Puigdefábregas et al., 1996).

AM	Horizonte (cm)	M.O. %	N tot. %	pH (H ₂ O)	E.C. μScm^{-1}	CaCO ₃ %	C.E.C.	Ca	Mg	Na	K
							cmol ₊ kg ⁻¹				
1	0-4	1.57	0.18	7.3	162.5	1.7	2.85	7.06	0.69	0.25	0.28
	4-11	1.16	0.17	7.7	93.3	0.84	2.90	5.29	0.48	0.23	0.08
	11-42	0.77	0.14	7.8		0.75	2.32	6.42	0.61	0.17	0.06
	42-73		0.12	8	59.2		2.25	4.33	0.54	0.23	0.06
	73-96	0.96	0.20	7.8	62.9	0.49	3.40				
2	0-3	1.38	0.18	6.9	84.8	0.99	3.64	2.86	0.59	0.17	0.23
	3-34	0.68	0.11	7	26.3	0.42	2.52	1.65	0.39	0.17	0.06
	34-60	0.75	0.10	7.3	37.2	0.44	2.65				
3	0-6	1.38	0.14	7	140.4	0.99	3.00	2.29	0.57	0.47	0.18
	6-21	0.93	0.14	7.6	46.3	0.48		1.79	0.37	0.18	0.08
	21-38	0.71	0.11	7.6	36.4	0.61	2.50	1.52	0.35	0.15	0.05
	38-70	0.76	0.10	7.4	25.8	0.44	3.39	1.56	0.37	0.23	0.04
4	0-4	1.83	0.22	7.5	215	1.46	3.57	7.27	0.90	0.18	0.18
	4-20	0.76	0.10	7.2	43.5	0.47	4.12	3.90	0.49	0.26	0.05
	20-50	0.92	0.09	7.2	31	0.76	3.65	3.88	0.50	0.21	0.05
5	0-3	2.57	0.32	7.3	192.7	1.13	4.29	7.00	0.79	0.35	0.29
	3-20	1.35	0.15	7.3	74.3	0.42	2.92	4.48	0.46	0.18	0.08
	20-60	1.08	0.13	7.7	74.5	3.75	2.62	15.64	0.71	0.16	0.03
6	0-5	1.82	0.24	7.3	181.1	2.9	3.69	11.13	0.67	0.15	0.24
	5-16	1.28	0.16	7.8	100.2	3.02	3.04	12.40	0.51	0.15	0.08
	> 16	1.42	0.20	7.6	159.5	9.85	4.39	17.59	0.52	0.17	0.04
7	0-5	5.2	0.33	6.9	4.24	2.01	9.45	12.96	1.45	0.37	0.51
	5-30	1.91	0.19	6.8	47.7	0.97	5.19	5.92	0.81	0.19	0.15
	30-60	1.89	0.17	6.5	35.9	1.12	7.30	5.29	0.97	0.18	0.06
8	0-3	4.8	0.34	6.9	160.6	1.9	4.74	9.77	1.32	0.19	0.51
	3-15	2.41	0.19	6.9	45.7	0.64	4.69	4.98	0.76	0.17	0.21
	> 15	2.54	0.28	7.3	59.5	0.99	4.69	6.16	1.18	0.28	0.08
9	0-6	3.82	0.28	7.1	100.8	1.29	4.82	7.75	1.00	0.16	0.40
	6-60	1.67	0.17	7.2	36	0.86	4.35	5.14	0.88	0.27	0.05

AM = Área de medida

Tabla 3.- Características químicas (fuente: Puigdefàbregas et al., 1996).

AM	Horizonte (cm)	Distribución granulométrica						Densidad aparente g·cm ⁻³	
		> 2 mm (%)	Tierra fina (%)						
			Arena gruesa	Arena fina	Limo grueso	Limo fino	Arcilla		
1	0-4	12.75	24.4	51.1	9.8	10.9	3.8	1.51	
	4-11	32.21	41.5	42.6	4.9	8.3	2.9		
	11-42	31.46	50.9	36.2	3.7	6.9	2.4		
	42-73	0.74							
	73-96	30.45	47.4	38.4	4.3	7.6	2.4		
2	0-3	22.71	42	40	5	9.6	3.5	1.59	
	3-34	38.64	48.5	36.6	4	8.3	2.7	1.65	
	34-60	54.71							
2	0-6	40.68	53.9	29.7	4.6	8.8	3.1	1.52	
	6-21	36.40	51.1	33.8	4.2	8.4	2.5		
	21-38	29.39	50.7	37	3	7.3	2		1.57
	38-70	25.50	42.1	43.3	4.1	8.2	2.3		
4	0-4	40.06	40.6	36.3	5.9	12	5.1	1.53	
	4-20	35.96	34.6	38.5	6	16.9	4	1.55	
	20-50	45.31	31.7	38.5	5.9	17	6.9		
5	0-3	40.63	31.7	47.5	6.1	10.2	4.5	1.45	
	3-20	34.30	35.8	41.9	5.8	11.7	4.7	1.59	
	20-60	44.70	33.7	39.9	6.3	15.9	4.1		
6	0-5	60.12	38.4	35.2	7.7	14.5	4.3	1.45	
	5-16	40.90	32.8	39.2	7.1	16.7	4.2	1.68	
	> 16	62.01	21.4	26.6	12	31.1	8.9		
7	0-5	55.83	30	37.8	8.9	15.9	7.5	1.26	
	5-30	58.47	29.8	36.2	6.9	18.7	8.5	1.34	
	30-60	30.49	25.9	30.7	8.6	24.2	10.6		
8	0-3	47.05	26.6	41.4	8.4	15.9	7.7	1.34	
	3-15	67.02	27	33.2	7.5	22.1	10.2	1.21	
	> 15	54.06	26.1	24	9.6	29.9	10.4		
9	0-6	55.19	37	38.2	6.7	15.3	2.8	1.27	
	6-60	28.56	21.6	33.9	11.3	26.6	6.6	1.5	

AM = Área de medida

Tabla 3.- Propiedades físicas (fuente: Puigdefábregas et al., 1996).

8.- Hidrología superficial y erosión de suelos

Debido a la escasez y naturaleza de las precipitaciones la escorrentía superficial es forzosamente discontinua a lo largo de las laderas, siendo los cauces principales de tipo efímero. Precipitaciones de hasta 20 mm en un día puede esperarse que ocurran todos los años; con periodos de retorno de 5 y 11 años se producen episodios lluviosos que superan los 50 y 70 mm en 24 h respectivamente (Lázaro et al., 2001). Dependiendo también de la intensidad, en el caso de los eventos más importantes pueden producirse avenidas más o menos efímeras que afectan a los cauces principales, lo que viene ocurriendo en promedio una vez cada 4 años (Domingo et al., 2001).

La red es de tipo dendrítico con una densidad de drenaje entre 12 y 16 km·km⁻². La dirección de los cauces está dirigida básicamente por la estructura local, tanto por la esquistosidad principal como por los ejes de los pliegues, siguiendo zonas lineales de mayor debilidad existiendo muy buenos ejemplos de erosión diferencial, dando sucesiones de resaltes o espolones morfológicos junto a vaguadas de reducidas dimensiones (cauces de orden 1).

8.1.- Mecanismos de escorrentía y tasas.

En las figuras 14 y 15 se muestran dos eventos representativos, con mecanismos de escorrentía diferentes. En la figura 14 se representa el evento de lluvia del 11 de septiembre de 1996 en el cual los horizontes superficiales del suelo (medidos hasta 15 cm) están muy húmedos, cercanos a la saturación, debido a los 22,5 mm caídos el día anterior con una intensidad promedio de $3 \text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$ (muy por debajo de la capacidad máxima de infiltración). La lluvia del 11 de septiembre, mucho más intensa (13 mm en unos 20 minutos), causó escorrentía por saturación del suelo a partir de sus capas subsuperficiales. La escorrentía se produce en primer lugar a nivel local: primero en la parcela 18B, en la parte alta de la cuenca (suelo somero y humedad volumétrica del 38% en dicho momento), seguida un minuto después por la parcela 15B (suelo profundo de la parte alta del cono aluvial) y cuatro minutos después por la 12B (suelo muy arenoso y más profundo de la parte baja de la catena). Destacan considerablemente las diferencias entre las tasas de escorrentía y sus totales en las tres parcelas a lo largo de la catena. En segundo lugar y casi en el mismo momento que la parcela 18B, se registra caudal en el aforador intermedio (F2), que se explica por los numerosos afloramientos rocosos presentes en el propio cauce, caudal que no aumenta significativamente hasta pasados 9 minutos del inicio del evento, algo después de que se registre un pico de escorrentía significativo en F3 (subcuenca de la parte alta).

Las máximas tasas de escorrentía a nivel de cuenca (entre $4 \text{ y } 8 \text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$) son un orden de magnitud inferiores a las de las parcelas 15 y 18 (entre $30 \text{ y } 45 \text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$). La baja escorrentía en la parcela 12B se explica por su textura mucho más arenosa que los demás suelos de la catena y su mayor profundidad. Este tipo de evento, de escasa frecuencia (en promedio menos de dos por año), sólo se produce cuando la magnitud y/o intensidad de la lluvia son grandes.

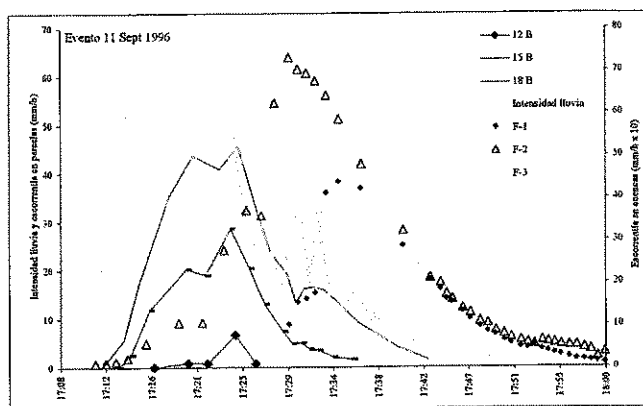


Figura 14.- Evento del 11 de septiembre de 1996 en el que se produce escorrentía por saturación desde el horizontes sub-superficial. El día anterior llovieron 22,5 mm y durante este evento 13 mm. Se registra escorrentía en todas las parcelas y en todos los aforadores de la cuenca.

En la figura 15 se representa un típico evento de lluvia en el que se produce escorrentía de tipo Hortoniano, a nivel local, por saturación del horizonte más superficial, sin que se alcancen los cauces. Se observa un aumento de humedad en el suelo a 5 cm de profundidad, casi paralelo con la escorrentía en la parcela. Sin embargo, el aumento de humedad a 15 cm de profundidad no se registra hasta una hora después del final de la escorrentía. Este tipo de evento es el más frecuente en Rambla Honda, registrándose escorrentía en las parcelas pero no en los cauces, lo que indica que la mayor parte del agua escurrida se re infiltra aguas abajo.

Según la época del año en que se produzca el evento y la magnitud e intensidad de la precipitación, la magnitud de la escorrentía varía según las parcelas (Fig. 16): en general producen mayor escorrentía las parcelas de la parte alta y media de la catena (nº 18 y nº 15, por este orden) que las de la parte baja (nº 12). Sin embargo, a finales del verano, cuando la repelencia del suelo es máxima en suelo de retama, eventos de pequeña magnitud e intensidad media o alta producen mayor escorrentía en las parcelas de la parte baja (nº 12) seguidas por las de la parte media y alta (nº 15 y nº 18, por este orden) de la ladera. En general, las parcelas con vegetación rala producen más escorrentía que las de vegetación densa, con la excepción de la nº 15A que escurre más que la nº 15B debido a la particular estructura espacial de sus cubiertas vegetales: la nº 15A presenta largas bandas sin vegetación en la dirección de la pendiente, que favorecen la escorrentía, mientras la nº 15B tiene la menor cobertura vegetal concentrada en la parte baja de la parcela, favoreciendo la infiltración justo antes que los flujos de agua alcancen la canaleta.

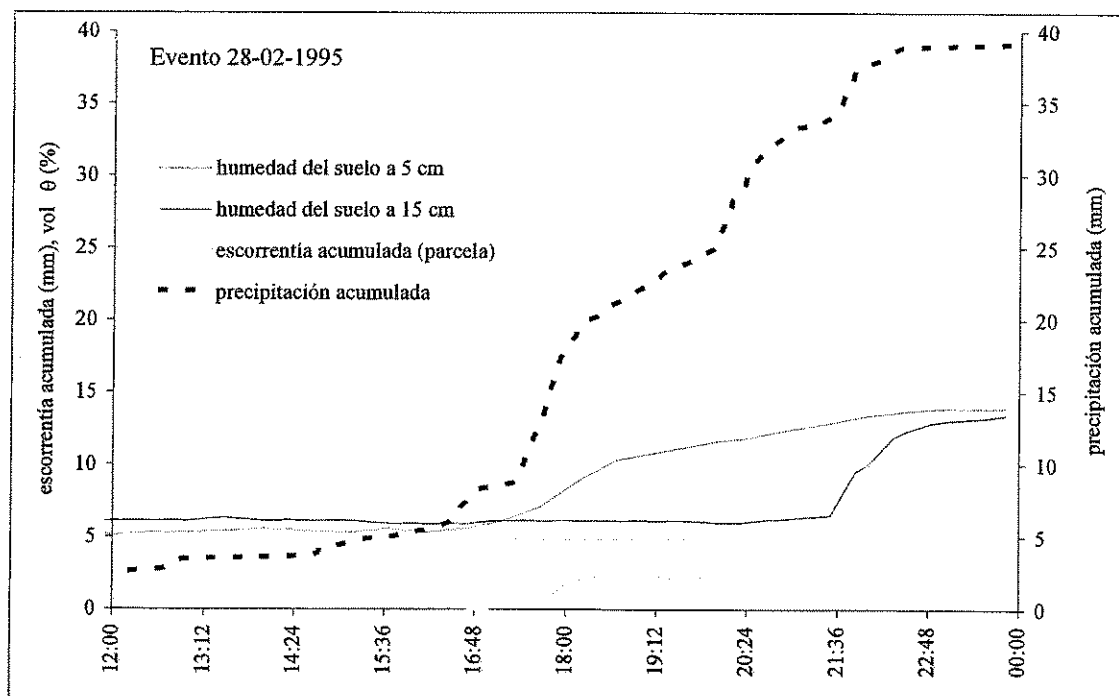


Figura 15.- Evento del 28 de Febrero de 1995 en el que se produce escorrentía por saturación de la capa superficial del suelo (de tipo hortoniano). Sólo se registra en las parcelas y no el cauce.

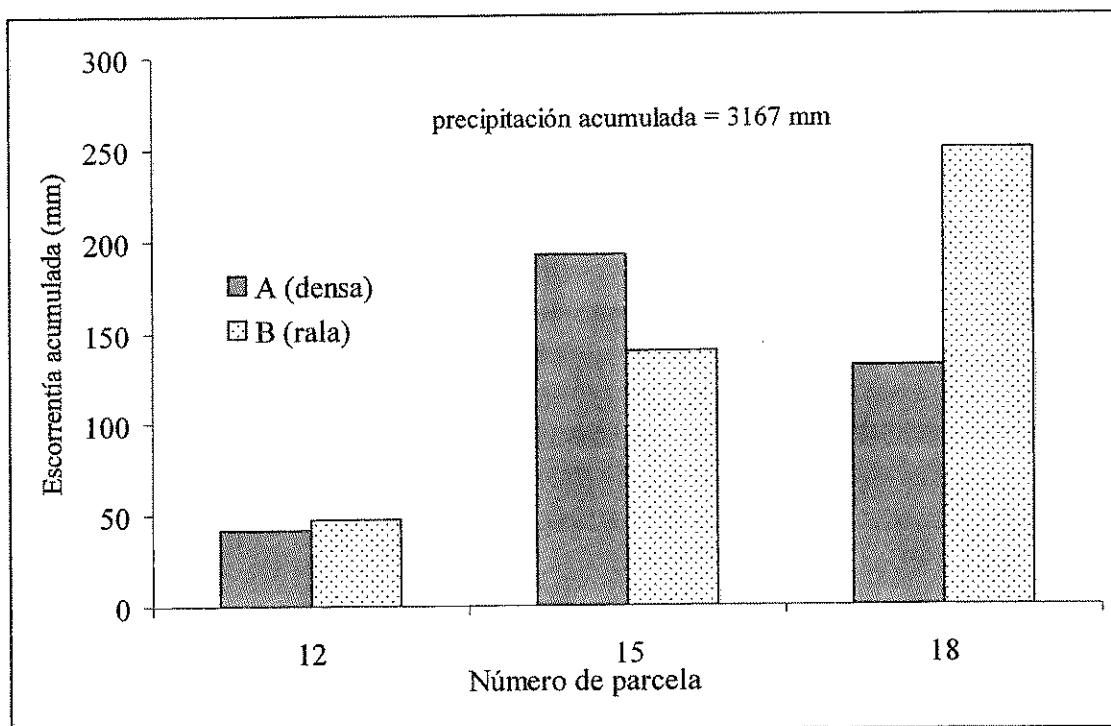


Figura 16.- Escorrentía total en 14 años en las parcelas 12, 15 y 18 de Rambla Honda.

8.2.- Erosión de suelos

Los suelos de la parte baja de la ladera, en su estado natural (como campo agrícola abandonado), están protegidos por un pavimento de piedras, por lo que las tasas de erosión por lluvia, en ausencia de escorrentía, son poco significativas, del orden de $0,1 \text{ t ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$. En la parte alta, la dispersa cobertura de esparto ha formado un sistema de gradines o terracitas en donde también se ha desarrollado un pavimento de piedras, si bien la mayor pendiente da lugar a mayores tasas de erosión, aunque también de muy baja magnitud, del mismo orden que las anteriores. Cuando de manera experimental, simulando una operación de labranza, se remueven los 15 cm superficiales de suelo, las tasas de erosión ante una lluvia intensa (60 mm h^{-1} , período de retorno de 10 años) se multiplican por 1000, alcanzándose 100 t ha^{-1} en un solo episodio lluvioso (Solé Benet et al, 2002), si bien, el pavimento de piedras se reconstruye gracias a las lluvias normales en unos pocos meses, protegiendo de nuevo al suelo como en su estado inicial de campo abandonado.

Aparte de este proceso que suele caracterizar a los suelos que recubren los abanicos aluviales, se producen en la zona otros procesos de erosión de suelos. Uno de ellos es la sufusión que afecta a las terrazas de banco amplio, de formación progresiva (2000 años de antigüedad según Puigdefábregas, 1998), alimentadas periódicamente por las boqueras de la rambla. Por su rango granulométrico en general estrecho, debido a la decantación de los elementos gruesos que se produce aguas arriba, y a los macro y gigaporos debidos a la meso y macrofauna, los gradientes hidráulicos en dichos poros en condiciones de avenida son suficientes para crear túneles que, al irse acelerando por el abandono agrícola, llegan a provocar elevadas tasas de erosión local e incluso la destrucción de la terraza. También las terrazas de banco estrecho que cubren algunas laderas sufren el efecto del abandono agrícola: la falta de mantenimiento de los muros de mampostería en seco da lugar a cárcavas que aceleran la pérdida de suelo e incluso la pérdida del bancal.

8.3.- Áreas fuente y sumidero de sedimentos.

A escala de metro cuadrado o parcela se ha estudiado la formación acelerada y el comportamiento hidrológico-erosivo de una costra filtrante (o pavimento filtrante) en suelos arenosos de origen aluvio-coluvial, sobre micasquistos. Treinta milímetros de lluvia artificial entre 60 y 100 mm·h⁻¹ de intensidad sobre una parcela recién labrada son suficientes para iniciar la reconstrucción de una costra-filtrante, cuyo grado de desarrollo después de un año de lluvia natural es equivalente al que se observa después de 20 años de abandono agrícola.

Las tasas máximas de erosión (10 g·m⁻²) se producen entre los 10 y 20 minutos de lluvia y las mínimas (< 0,1 g·m⁻²), en los diez primeros minutos después de labrar y una vez restablecido el pavimento filtrante.

A escala de ladera las interacciones de la vegetación con la escorrentía y el flujo de sedimentos son complejas y dependen de la densidad de la vegetación y de su estructura espacial. Un incremento de la densidad causa un decremento exponencial de la escorrentía y la salida de sedimentos. El efecto de la estructura espacial es dinámico y específico de cada especie. Es particularmente significativo en hierbas perennes que forman macollas porque tienen una amplia y densa base en contacto con el suelo y son capaces de interceptar un significativo porcentaje de escorrentía y de sedimentos. Puigdefábregas & Sánchez (1996) señalan valores de intercepción del 50% para *Stipa tenacissima*. Esta intercepción de sedimentos interactúa con el crecimiento de las plantas y ayuda a la formación de estructuras en bandas de vegetación a lo largo de la ladera, lo cual retroalimenta positivamente la intercepción. Más allá de un cierto umbral de flujo de sedimentos las estructuras de vegetación se desorganizan, se inicia la formación de surcos y la salida de sedimentos aumenta considerablemente (Puigdefábregas & Sánchez 1996).

9.- Hidrogeología

La geología de la zona indica que sólo se encuentran niveles acuíferos en donde se producen acumulaciones de sedimentos cuaternarios, generalmente en los cauces principales de las ramblas, considerándose el substrato de micasquistos como impermeable. En nuestra zona de estudio, el espesor de sedimentos cuaternarios alcanza 30 m y solo durante los episodios lluviosos extremos llega a llenarse el acuífero aluvial (tres veces en 15 años). La elevada conductividad hidráulica del sedimento explica su rápido vaciado (inferior a 72 h) probablemente por drenaje lateral aguas abajo. Pero en los eventos de precipitación intensos la concentración de escorrentía es rápida y el agua puede correr en superficie por los lechos de los cauces principales sin haberse llenado previamente todo el acuífero.

10.- Medida y modelización de la evapotranspiración.

El modelo se ha aplicado con éxito para determinar el balance y la recarga potencial, en un sector de rambla en el área experimental de Rambla Honda (Domingo *et al.*, 2001). Se trataba de evaluar los componentes del balance hídrico en un sector de cauce de 0,71 km², poblado por *Retama sphaerocarpa* con una fracción de cobertura de 0,30 – 0,35 y cuyas raíces alcanzan la base del depósito (Haase *et al.* 1966). El área de las dos laderas que vierten directamente al cauce analizado es de 1,67 km² y el área total de la cuenca, cuya cabecera se sitúa en la parte alta de la Sierra de Filabres, es de 32 km². El relleno sedimentario del cauce presenta un espesor

máximo de 30 m y los piezómetros instalados desde hace 15 años, no detectan la presencia de zonas saturadas en su interior. El balance hídrico local ($D = P - E_a$) se determinó retrospectivamente, durante tres años (1994-1997) utilizando el modelo de ETR. El drenaje anual muestra un déficit 100 mm, debido a que la evaporación real excede a la precipitación, mientras que las aportaciones de las laderas colindantes y de la cuenca global, durante el periodo considerado se estimaron en 7 mm y 160-400 mm anuales respectivamente.

Estos resultados permiten concluir que, aún en ausencia de circulación subálvea, el sector de cauce considerado, además de la precipitación directa, recibe más de 100 mm de agua, procedentes, casi en su totalidad, de avenidas efímeras que se generan en la cabecera de la cuenca. La aportación de las laderas adyacentes al cauce tiene muy poca importancia cuantitativa.

En cuanto a la ampliación de la aplicabilidad del modelo de ETR, los resultados obtenidos en cuanto a la agregación temporal han permitido, en primer lugar, analizar el grado de estabilidad temporal del modelo de evapotranspiración utilizando la agregación, a través de promedios, de sus variables exógenas a distintas resoluciones temporales. Para ello se estudió la tendencia de las correlaciones entre las estimas de evapotranspiración, obtenidas a partir de las variables agregadas y sin agregar, frente a la resolución temporal. Se ha comprobado que las correlaciones disminuyen y el error relativo de las estimas aumenta a partir de la resolución temporal de 12 horas, siendo aún muy razonable ($< 10\%$) a 24 h (Were et al., 2001). Todo ello muestra que el modelo puede ser utilizado con bastante confianza a resoluciones temporales entre 20' (en la que fue validado) y 24 h, lo que hace que se pueda usar con variables climáticas obtenidas con estaciones meteorológicas estándar.

Actualmente se está estudiando la agregación espacial, para la obtención de flujos de áreas cada vez más extensas y heterogéneas.

Otro componente de la evapotranspiración que ha estudiado el grupo de Desertificación y Geoecología es la intercepción de agua de lluvia. La mayoría de los estudios de intercepción disponibles se han realizado en masas forestales, aunque en los últimos años han aparecido trabajos sobre otros tipos de cubiertas y especies individuales. En Rambla Honda se ha parametrizado y validado el modelo de intercepción de Rutter en las especies *Retama sphaerocarpa*, *Anthyllis citysoides* y *Stipa tenacissima* (Domingo et al. 1998). Actualmente se trabaja sobre estas mismas especies para conocer los parámetros que definen la partición de lluvia: *a*) durante el mojado de la copa: transcolación libre y agua mínima necesaria para mojar toda la copa y *b*) durante el drenaje de la copa: parámetros que describen el comportamiento de la conductancia aerodinámica en relación al viento y la evolución del drenaje y de la escorrentía cortical en función del agua almacenada en la copa. Se está desarrollando un modelo dinámico que, operando a escala de evento, es capaz de simular los tres flujos principales de partición de lluvia (transcolación, escorrentía cortical y pérdidas por intercepción) en función de las características estructurales de la copa de una mata, las variables micrometeorológicas y la intensidad y duración del evento.

11.- Población y uso del suelo

En el pasado el uso de esta zona fue muchísimo más intenso que el actual puesto que vivían en ella varias familias, lo que hacía inevitables varias actividades: agricultura de secano (cereales sobre todo), cultivando para ello todas las terrazas de fondo de rambla y los numerosos balates

(terrazas de banco estrecho en laderas) de la zona, si bien mediante técnicas de cosecha de agua procedente de laderas desnudas y/o rocosas también proporcionaban riegos complementarios a pequeñas parcelas con olivos y/o huertos; ganadería (ovina, caprina y porcina); caza menor; recolección del esparto que los propios habitantes favorecieron, como fuente de celulosa, y de plantas aromáticas, hoy en día muy escasas; apicultura.

Actualmente la zona está despoblada por el abandono ocurrido en las décadas de los 50 y 60 del siglo XX. Aunque la zona sigue teniendo un uso ganadero de baja intensidad, en el área experimental dicho uso se ha excluido totalmente con la finalidad de que sus posibles efectos no interfirieran con los procesos naturales. Una de las principales diferencias entre la zona pastoreada y la no pastoreada ha sido la presencia en la zona no pastoreada, durante los últimos 2 años, de una plaga de cochinilla que ha provocado una elevadísima mortandad de albaida, con posibles consecuencias, todavía no evaluadas, en el comportamiento hidrológico y geomorfológico en las áreas afectadas. Otro uso actual del suelo es la caza menor, sobre todo de perdiz roja, codorniz y conejo.

12.- Procesos ambientales y riesgo naturales

A la vista de los bien desarrollados conos aluviales del área se podría pensar que las peligrosas avenidas de tipo “debris flow” que los ocasionaron podrían producirse en algún momento. Sin embargo esto es muy poco probable dado que los conos, aparte de presentar en superficie un típico pavimento de piedras, presentan también en su parte baja una elevada concentración de cantos y bloques en superficie que indica el carácter no activo del cono aluvial (Colombo, 1989), lo que se confirma también por la incisión profunda a que están sometidos. Harvey (1984a) considera que estos abanicos aluviales debieron formarse a finales del Pleistoceno entre el término de la última glaciación y el principio del Holoceno, cuando la red de drenaje se ha ido encajando progresivamente.

No obstante, la estabilidad estructural de los suelos del área es muy baja, por lo que cualquier perturbación externa (lluvia torrencial, labranza) puede ocasionar su erosión acelerada.

13.- Avenidas e impacto de los cambios de uso en la rambla de Tabernas

Aproximadamente cada cuatro años (promedio de los últimos 15 años), se produce una avenida de mayor o menor magnitud que afecta esencialmente el cauce principal de la rambla, que llega hasta la rambla de los Nudos, tributaria a su vez de la de Tabernas. Hasta la fecha se desconoce qué sectores de la totalidad de la cuenca, de unos 30 km², contribuyen significativamente a las avenidas. Tampoco se conoce con exactitud cómo se produce la precipitación en la cuenca. Según un testigo presencial fiable (Harvey, 1984b) en el evento extremo de Septiembre 1980, consecuencia de una precipitación de tipo convectivo, 150 mm en 5 h, con un período de retorno superior a 30 años, una cuenca tributaria de rambla Honda, la del Cabritillo, fue la responsable de caudales de 8 m³·s⁻¹ en la confluencia con rambla Honda, 2 km aguas arriba del área experimental, que alcanzaron los 17,5 m³·s⁻¹ un kilómetro aguas abajo del área experimental (datos estimados a partir de huellas máximas). Los efectos de la avenida fueron muy grandes en los campos abandonados del fondo y laterales de la rambla, estos últimos alimentados por boqueras, provocando erosión de taludes, túneles de sufusión que terminarían en grandes cárcavas y en la destrucción de bancales. Al no repararse los bancales debido al abandono agrícola, las avenidas ulteriores han ido acentuando la erosión de los bancales en cascada cuyo espesor de suelo-sedimento se había formado paulatinamente durante cientos de años.

Bibliografía

- Cammeraat, L.H. 1992. MEDALUS field manual., version 3.1. University of Bristol, 115 p.
- Capel, J.J. 1982. La aridez en la península ibérica. Algunos índices bioclimáticos. En "Homenaje almeriense al botánico Rufino Sagredo". Instituto de Estudios Almerienses, Diputación de Almería.
- Capel, J.J. 1986. El clima de la provincia de Almería. Publicaciones de la Caja de Ahorros de Almería. Almería.
- Castillo Requena, J.-M. 1989. El clima de Andalucía. Publicaciones de la Caja de Ahorros de Almería. Almería.
- Colombo, F. 1989. Abanicos aluviales. En A. Arche (coordinador): Sedimentología, vol 1, pp 143-218, colección "Nuevas Tendencias", CSIC, Madrid.
- Contreras, S., Solé-Benet, A. 2003. Hidrofobicidad en suelos mediterráneos semiáridos: implicaciones hidrológicas para una pequeña cuenca experimental en el SE ibérico. *Cuaternario y Geomorfología*, 17: 29-45.
- Domingo, F., G. Sánchez, M.J. Moro, A.J. Brenner, J. Puigdefábregas. 1998. Measurement and modelling of rainfall interception by three semi-arid canopies. *Agricultural and Forest Meteorology*, 91: 275-292.
- Domingo, F., L. Villagarcía, A. J. Brenner & J. Puigdefábregas. 1999. Evapotranspiration model for semi-arid shrub-lands tested against data from SE Spain. *Agricultural and Forest Meteorology*, 95: 67-84.
- Domingo, F., L. Villagarcía, M. M. Boer, L. Alados-Arboledas & J. Puigdefábregas. 2001. Evaluating the long-term water balance of arid zone stream bed vegetation using evapotranspiration modelling and hillslope runoff measurements. *Journal of Hydrology*, 243: 17-30.
- FAO. 1990. Mapa mundial de suelos. Leyenda revisada. FAO, Roma.
- FAO-ISRIC- ISSS, 1998. World Reference Base for Soil Resources. FAO, Roma.
- Gutiérrez, L. 2000. Estructura y productividad de la vegetación de estepa mediterránea en relación con la variabilidad climática: el sistema de ladera en Rambla Honda (Almería). Tesis Doctoral inédita. Dpto. de Biología Vegetal y Ecología, Universidad de Almería – Estación Experimental de Zonas Áridas, CSIC. Almería.
- Harvey, A. 1984. Aggradation and dissection sequences on Spanish alluvial fans: influence on morphological development. *Catena*, 11: 289-304.
- Harvey, A. 1984. Geomorphological response to an extreme flood: a case from SE Spain. *Earth Surface Processes and Landforms*, 9: 267-279.
- Haase, P., F. I. Pugnaire, E. M. Fernández, J. Puigdefábregas, S. C. Clark & L. D. Incoll. 1996. An investigation of rooting depth of the semi-arid shrub *Retama sphaerocarpa* (L.) Boiss. by labelling of ground water with a chemical tracer. *Journal of Hydrology*, 177: 23-31.
- Kessler J, Oosterbaan R. 1974. Determining hydraulic conductivity of soils. In: *Drainage Principles and Applications*. Publication 16, III. Institute for Land Reclamation and Improvement: Wageningen, The Netherlands; 253-296.
- Lázaro, R., F.S. Rodrigo, L. Gutiérrez, F. Domingo y J. Puigdefábregas. 2001. Analysis of a Thirty Year Rainfall Record (1967-1997) from Semi-Arid SE Spain for implications on vegetation. *Journal of Arid Environments*, 48: 373 - 395
- Neumann, H. 1961. El clima del sudeste de España. *Estudios Geográficos*, 21(79): 171-209.
- Nicolau, J. M., A. Solé-Benet, J. Puigdefábregas & L. Gutiérrez. 1996. Effects of soil and vegetation on runoff along a catena in semi-arid Spain. *Geomorphology*, 14: 297-309.

- Pardini, G., R. Aringhieri, R. Josa, M. Gispert, J. Torrentó, & A. Solé. 1991. Structural stability evaluation in some soils under mediterranean climate. Proceedings XVIII Reunión Nacional de Suelos. Tenerife. pp. 43–49.
- Puigdefábregas, J. & G. Sánchez. 1996. Geomorphological Implications of vegetation patchiness on semi-arid slopes. M. G. Anderson & S. M. Brooks Eds. John Wiley & Sons Ltd. In *Advances in Hillslope Processes*, 2: 1027–1060.
- Puigdefábregas J., J. M. Alonso, L. Delgado, F. Domingo, M. Cueto, L. Gutiérrez, R. Lázaro, J. M. Nicolau, G. Sánchez, A. Solé, S. Vidal, C. Aguilera, A. Brenner, S. Clark & L. Incoll. 1996. The Rambla Honda field site: interactions of soil and vegetation along a catena in semi-arid southeast Spain. En J. Brandt y J. B. Thornes (eds) *Mediterranean Desertification and Land Use*, pp 137–168. John Wiley & Sons, Ltd.
- Puigdefábregas, J., G. del Barrio, M. Boer, L. Gutierrez & A. Solé. 1998. Differential responses of hillslope elements to rainfall events in a semi-arid area. *Geomorphology*, 14: 297–309.
- Puigdefábregas, J. 1998. Lithological control of downstream runoff and sediment production in headwater gully systems. In J. Brandt & J. Thornes (eds) Final report MEDALUS III. Dep. Geography, King's College, London, pp ...
- Puigdefábregas, J., A. Solé, L. Gutierrez, G. del Barrio & M. Boer. 1999. Scales and processes of water and sediment redistribution in drylands: results from the Rambla Honda field site in Southeast Spain. *Earth-Science Reviews*, 48: 39–70.
- Queralt-Mitjans, I., F. Domingo & A. Solé-Benet. 1993. The influence of local sources on the mineral content of bulk deposition over an altitudinal gradient in the Filabres Range (SE Spain). *Journal of Geophysical Research*, 98: 16761–16768.
- Sole-Benet, A., Pini, R., Raffaelli, M. 2002. Hydrological consequences of soil surface type and condition in colluvial mica-schist soils after agricultural abandonment. In J.L. Rubio, R.P.C. Morgan, S. Asins, V. Andreu (eds.) *Man and soil at the third millenium (3rd Int. Congress of the European Society for Soil Conservation)*, vol I, pp. 523–533, Geoforma Ediciones, Logroño, Spain.
- Solé-Benet, A., Cantón, Y., Ortigosa, M.C. 2004. Estabilidad de los agregados de suelos franco-arenosos sobre micasquistos como indicadores de su erosionabilidad. En G. Benito y A. Diez Herrero (eds) *Riesgos naturales y antrópicos en Geomorfología, VIII Reunión Nacional de Geomorfología*, Vol 2, pp 299–309. Sociedad Española de Geomorfología – CSIC, Madrid.
- Villagarcía Saiz, L. 2000. Reformulación, parametrización y validación de un modelo de evapotranspiración para vegetación dispersa. Tesis doctoral inédita, Universidad de Almería, Dpto. Biología Vegetal y Ecología.
- Villagarcía, L., F. Domingo, L. Alados-Arboledas & J. Puigdefábregas. 2001. Modelización de la evapotranspiración real en rodales de tres especies vegetales del SE español. Pulido Bosch, A., P. A. Pulido Leboeuf & A. Vallejos Izquierdo Eds. En *V Simposio sobre el agua en Andalucía*, 1: 107–118.
- Were, A., L. Villagarcía, F. Domingo, G. Del Barrio & J. Puigdefábregas. 2001. Rendimiento de un modelo de evapotranspiración multifuente a diversas resoluciones temporales. Pulido Bosch, A., P. A. Pulido Leboeuf & A. Vallejos Izquierdo Eds. En *V Simposio sobre el agua en Andalucía*, 1: 119–125.

22 DE SEPTIEMBRE

VISITA A LOS SUELOS SALINOS DE CABO DE GATA

VISITA A LOS SUELOS VOLCÁNICOS DE CABO DE GATA

Introducción

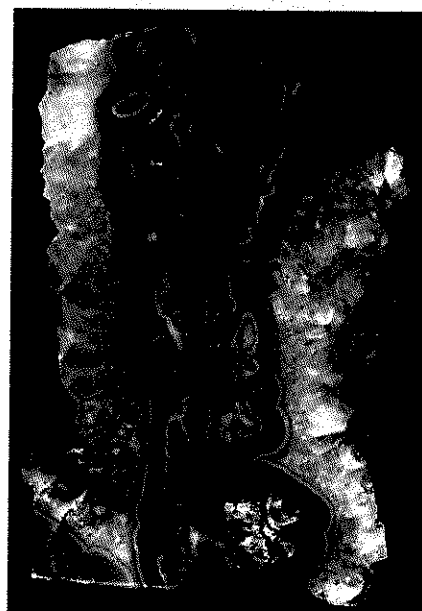
Nos encontramos en el Cabo de Gata. Si el segmento norte-sur de la península tiene por extremos a Finisterre y Gibraltar, el este-oeste tiene al Cabo de San Vicente y el Cabo de Gata, lo que nos sitúa en un enclave geográfico preferencial, no sólo para la Península Ibérica, sino para toda la cuenca mediterránea.



Cabo de Gata en el Mediterráneo

Al menos desde hace 3000 años tenemos referencias de este enclave. La más antigua es debida a la ruta de navegación que desde Tiro llegaba hasta Gadir (Cádiz), Maineken (Málaga), y el promontorio Charidemo (o Xaridemos de los romanos: Cabo de Gata), es decir la ruta de los metales fenicia. Es el *promontorius Charidemus* el nombre con el que se designaba a este enclave, su traducción: Promontorio de las Ágatas. La presencia fenicia no sólo se manifiesta en la toponimia, sino que además existen otros signos que evidencian la relación minería-abastecimiento-comercio de la flota, es decir la minería de oro próxima a Cabo de Gata, la presencia de las salinas y los diferentes restos arqueológicos en la línea de costas de una importante industria dedicada a la pesca y salazón.

El origen de estas salinas es consecuencia de la *lectura del paisaje* que ya se hacía en la antigüedad. Dichas salinas no se sitúan aleatoriamente en cualquier lugar, sino que para

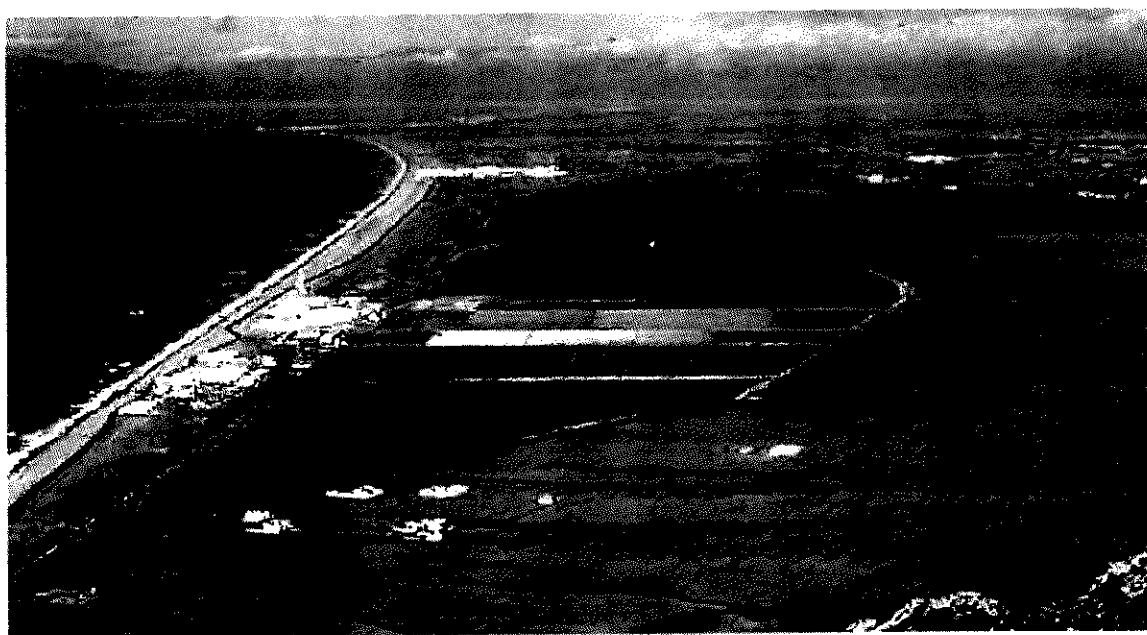


Ejemplar de ágata del Cabo de Gata

que sean efectivas, deben cumplir una serie de requisitos, el más importante de los cuales es que tiene que haber una depresión con un sustrato impermeable y que se pueda colmatar de agua de mar. En nuestro caso dicha depresión es paralela a la línea de costas, y por lo general queda topográficamente 1 o 2 metros por debajo del nivel del mar, por lo que para llenarla sería suficiente una canalización cuya toma de agua estuviera directamente conectada con el mar, y el débil rango mareal del mediterráneo se encargaría de su llenado. De esta manera se explica el funcionamiento de estas salinas.

Las Algaidas

Estas zonas, que han sido reutilizadas para construir las salinas, son extensas depresiones configuradas desde el punto de vista hídrico como una zona endorreica, cuyo nivel queda topográficamente por debajo del nivel del mar, y que quedan cerradas por un cordón de dunas. Podríamos decir que sería un sistema morfogenético de enlace entre los *glacis* cuaternarios continentales y el medio marino.



Salinas del Cabo de Gata

El término que se ha utilizado para identificarlas es el de *algaida*, palabra que etimológicamente proviene del árabe *al-qaida*, (pantano, cañaveral, no debe confundirse con *al-qaeda*, la base), arabismo que se constata desde 1585 y que ha perdurado hasta nuestros días.

Son de origen tectónico, y constituyen uno de los ecosistemas característicos de la costa mediterránea, que desde el Algarve portugués (en donde se llaman *zonas de Al-margen*) hasta el levante español, dibujan la línea de costas.



Algaida (Al-margen), en Quarteira, Portugal

Los factores formadores

De esta forma podemos deducir fácilmente cuáles van a ser los factores edafogenéticos que van a condicionar la formación de los suelos de estos enclaves.

a) El factor relieve. Por un lado va a condicionar la colmatación de estas depresiones con sedimentos y aportes de los relieves próximos circundantes, y por otro lado va a permitir la infiltración y la acumulación del agua de lluvia, para formar una zona saturada en profundidad, cuyo drenaje será impedido por la falta de comunicación hidráulica con el mar y la impermeabilidad del sustrato.

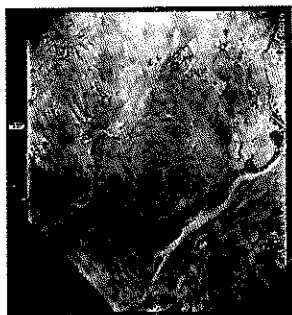
b) El factor climático. El régimen árido va a ser el responsable de que durante los doce meses del año estos suelos estén en un régimen hídrico deficitario, ya que la tasa de evapotranspiración varía entre un mínimo de 27 mm en el mes de enero y 161 mm en el mes de julio.

Ambos factores van a conjugar la dinámica de oscilación de la capa freática a lo largo de las estaciones del año, que puede variar en profundidad desde 0,90 m hasta 2,60 m, y cuya conductividad eléctrica puede variar entre valores mínimos de $7 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ hasta valores máximos de $70 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$, (el agua de mar posee una C.E. entre 15 y $17 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$). Esto va a condicionar diferentes procesos: ascenso y descenso de flujos salinos, precipitación y acumulación de sales, modificación de la estructura, mineralización de la materia orgánica y unas extremas condiciones anóxicas en los perfiles de estos suelos. Una vegetación especializada de tipo halófila se adapta con mecanismos muy complejos a estas singulares condiciones, hasta las zonas en las que la salinidad presenta valores de $90 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$, donde la vegetación queda extinguida.

Se ha medido la C.E. de los jugos celulares de algunas de las especies más representativas de estos medios, obteniéndose valores de $49,6 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ para el *Arthrocnemum macrostachium* y $60,2 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ para la *Sarcocornia perennis*.

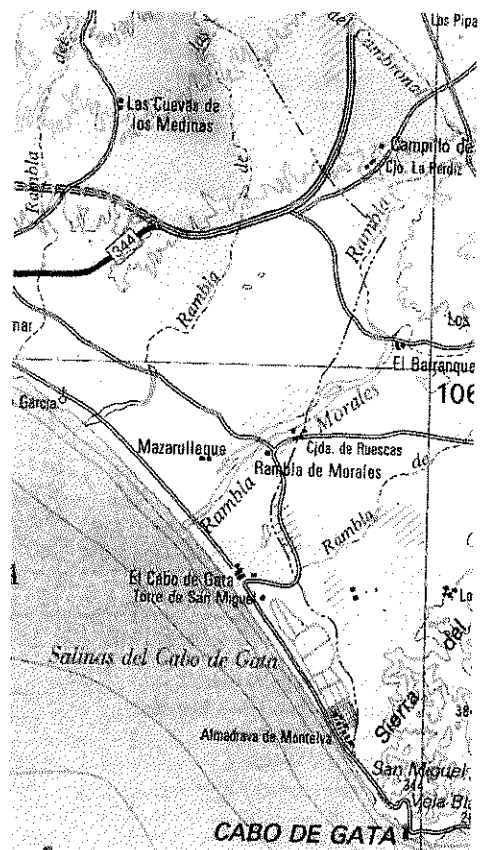
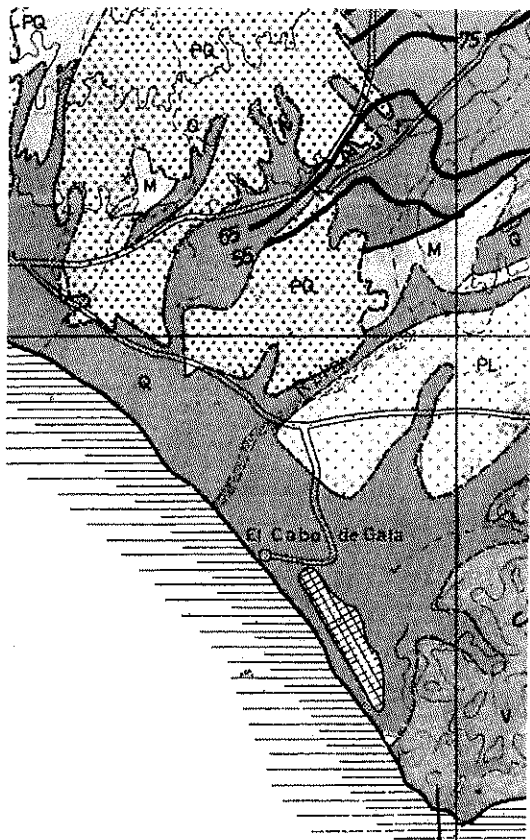
c) Factor Antrópico. Estos ecosistemas se encuentran en la actualidad en una regresión acelerada. La presión urbanística en las playas está impidiendo el aporte de arena necesario para su activación, y en algunos casos han sido totalmente niveladas y roturadas para diferentes

aplicaciones urbanísticas. Las practicas agrícolas, incluyendo el uso de algunos de los materiales necesarios para los cultivos enarenados han desmantelado grandes superficies de dunas que hoy día han desaparecido. Los altos valores de la salinidad de estos suelos los hace improductivos, por lo que dichos enclaves se suelen utilizar como vertederos incontrolados de todo tipo de residuos.



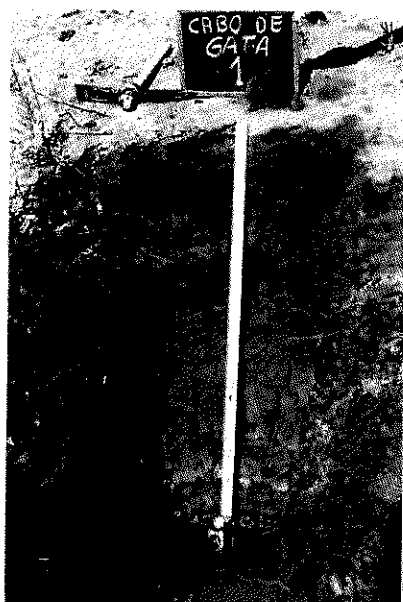
Fotograma aéreo n°. 41055 (ASTG, Vuelo Americano), del 17 de mayo de 1957, que muestra los extensos campos de dunas longitudinales hoy ya desaparecidos





Situación geográfica y geológica de los perfiles.

Q: cuaternario; **PQ:** pliocuaternario; **M:** mioceno; **V:** materiales volcánicos



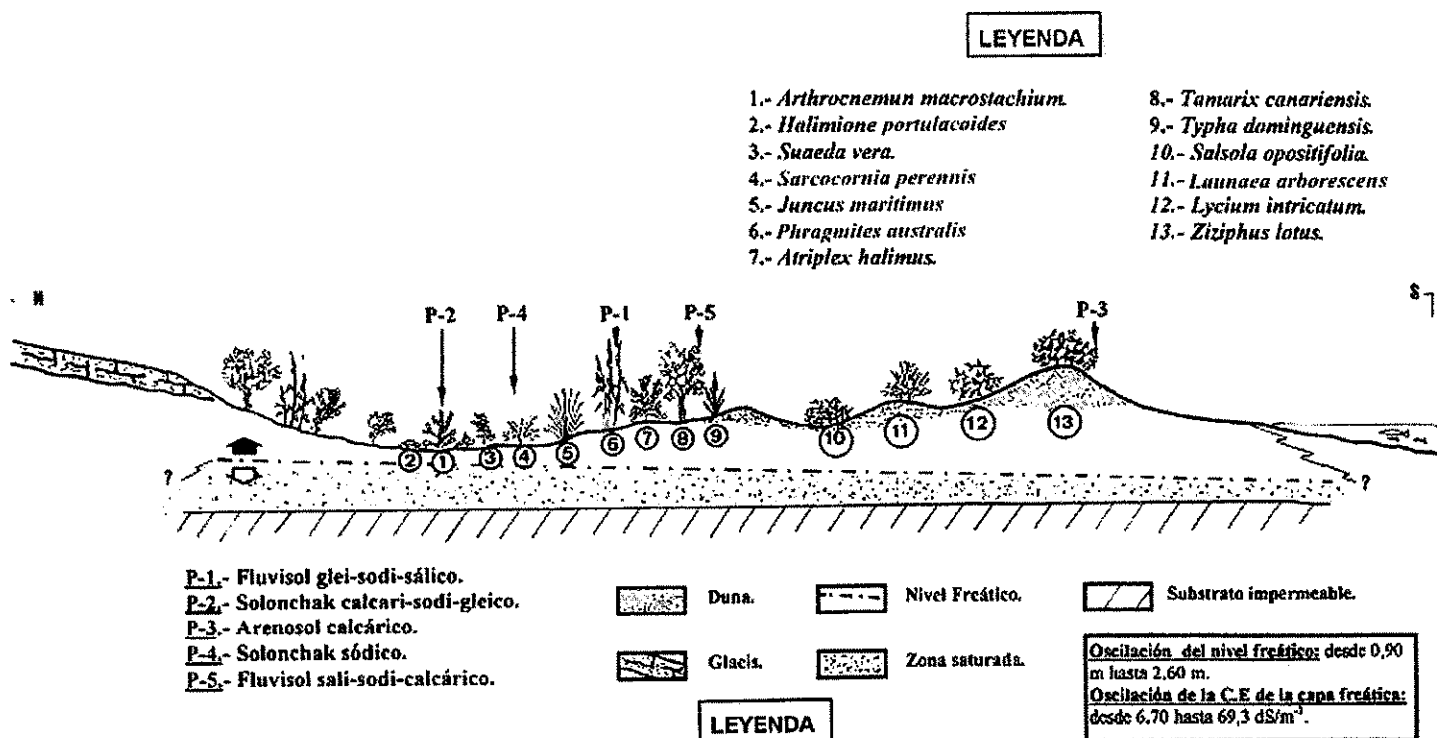


Fig.- 1. Esquema general de una *Algaída* en el litoral Almeriense.

ABREVIATURAS Y MÉTODOS USADOS EN LA ANALÍTICA:

- * C.O. = Carbono orgánico.
- * N = Nitrógeno total.
- * CE_{es} = Conductividad eléctrica calculada por el método de Simón *et al.*, 1994.
- * RAS = Relación de adsorción de sodio en mmol dm³ del extracto de saturación.
- * El contenido total de sílice (Sit), hierro (Fet) y manganeso (Mnt) se determinó mediante eflorescencia de RX.
- * El total de óxidos de hierro (Fed) se determinó mediante extracción con ditionito-citrato (método de Holmgren, 1967); las formas amorfas (Feo, Alo, Sio) mediante extracción con oxalato amónico, y las unidas a la materia orgánica (Fep, Alp, Sip, Cp) mediante extracción con pirofosfato sódico (métodos de Blakemore *et al.*, 1981 y Van Reeuwijk, 1993).
- * Las sales solubles expresadas en g/kg de suelo se calcularon a partir de las sales del extracto de saturación, y del agua empleada en la preparación del mismo.
- * El programa Solmineq.88 se utilizó para estimar la actividad de los iones simples y complejos presentes en los extractos de saturación.

PERFIL SALINO- PUJAIRE
CARACTERÍSTICAS MACROMORFOLÓGICAS

Clasificación: Solonchak gléyico gípsico (WRB, 1999). Aquisalid gípsico (USDA, 1999).
Fecha de observación: 12 de julio de 2005.
Situación: 200 m al sur de Pujaire.
Provincia: Almería.
Coordenadas UTM: 30SWF675735.
Altitud: 5 m.
Posición fisiográfica: Cuenca endorréica
Forma del terreno circundante: Llano o casi llano.
Pendiente: Llano (0%).
Vegetación o uso de la tierra: Matorral halófilo.
Material original: Depósitos de limos y arenas de albufera.
Drenaje: Clase 2. Imperfectamente drenado. Capa freática en los primeros 100 cm (Eh= 71 mV y CE= 45,7 dS m⁻¹)
Condiciones de humedad: Húmedo a partir de los primeros 4 cm.
Pedregosidad: Clase 0. Sin piedras.
Afloramientos: Clase 0. Ninguna o muy pocas rocas.
Erosión: Deposición.
Evidencias de erosión en el perfil: No.
Presencia de sales o álcalis: Clase 3. Fuertemente afectado por sales.
Influencia humana: Ganadería y caza.

Hor.	Prof. (cm)	Descripción
A	0 – 6/7	Pardo amarillento oscuro (10YR 4,5/3) en húmedo y pardo (10YR 5/3) en seco. Textura arcillo limosa. Estructura laminar gruesa, fuerte. De adherente a muy adherente, plástico, friable y ligeramente duro. Frecuentes poros finos y muy finos, continuos, horizontales y simples. De pocos a frecuentes nódulos pequeños, blancos, blandos y esféricos. Presencia de pseudomicelios. Calcáreo. Pocas a muy pocas raíces muy finas. Límite brusco y casi plano.
C1	6/7 – 19/21	Pardo oscuro (10YR 3/3) en húmedo y pardo (10YR 5/3) en seco, aunque el conjunto del horizonte tiende a tener un color abigarrado con zonas pardas y grises distribuidas de un modo irregular. Textura arcillo limosa. Sin estructura: aglomerado, pero tiende a romper en grandes bloques. Adherente, plástico y muy duro. Pocos poros muy finos y finos. De pocos a comunes nódulos pequeños, blancos, blandos y esféricos. Presencia de pseudomicelios. Calcáreo. De pocas a comunes raíces finas. Límite brusco y ligeramente ondulado.
2C2	19/21-23/26	Pardo oscuro (10YR 3/3) en húmedo y pardo (10YR 5/3) en seco. Textura arcillosa. Estructura laminar. Está constituido por capas de arena similares al horizonte subyacente, de unos 3-5 mm de espesor, y capas de color pardo similares al horizonte suprayacente de 1 a 2 mm de espesor. La alternancia de capas le da un aspecto laminar. Calcáreo, con algunos restos de conchas de gasterópodos. Pocas raíces finas y muy finas. Límite brusco y ligeramente ondulado.
3C3	23/26-33/36	Pardo grisáceo oscuro (2,5Y 4/2) en húmedo y pardo grisáceo (2,5Y 5,5/2) en seco. Textura de arenosa franca a franco arenosa. Sin estructura: de grano suelto, aunque presenta una pequeña banda de unos 5 mm de espesor similar al material del horizonte subyacente. Abundantes poros intergranulares. Calcáreo. Escasas raíces finas y muy finas. Límite brusco y ligeramente ondulado.

4C4	33/36-38/46	Está constituido por una alternancia de capas pardas y grises de pequeño espesor (1-2 cm) e irregulares. La capa superior es de color pardo rojizo oscuro en húmedo (5YR 3/3), en la intermedia domina el color pardo grisáceo oscuro en húmedo (10YR 4/2) y la más profunda muestra un color pardo oscuro en húmedo (7,5YR 3/2). La textura del conjunto del horizonte es franco limosa. Sin estructura: aglomerado. Pocos poros intersticiales y tubulares muy finos, discontinuos y caóticos. Ligeramente adherente y plástico. En la capa intermedia se presentan frecuentes nódulos de cristales de sales, grandes, blandos, blancos e irregulares; mientras que en la capa inferior, en el contacto con el horizonte subyacente, se presentan pequeños nódulos de yeso blancos, redondeados y blandos. Pocas raíces muy finas. Calcáreo. Límite brusco y plano.
4C5	38/46-57	Gris en húmedo (2,5Y 5/1) y en seco (2,5Y 6/1) . Textura franco limosa. Sin estructura: aglomerado. Adherente y plástico. En la parte superior presenta pequeños nódulos de yeso blancos, redondeados y blandos. Escasa porosidad. De pocas a frecuentes raíces muy finas. Calcáreo. Límite neto y plano.
4C6	57-80	Pardo grisáceo oscuro en húmedo (10YR 5/2) y pardo grisáceo (10YR 6/2) en seco. Textura franco limosa. Sin estructura: aglomerado. Adherente y plástico. Escasa porosidad. Pocas raíces muy finas. Comunes nódulos blancos y blandos de sales. Fuertemente calcáreo. En la zona de transición con el horizonte subyacente se presenta una alternancia de bandas de ambos horizontes. Muy pocas raíces muy finas. Límite neto y plano.
5C7	80-91	Gris claro en húmedo (2,5Y 7/1) y blanco (2,5Y 8/1) en seco. Textura franco limosa. Sin estructura: aglomerado. Ligeramente adherente y ligeramente plástico. Frecuentes poros intersticiales. Frecuentes nódulos blancos y blandos de sales. Fuertemente calcáreo. Pocas raíces muy finas que tienden a concentrarse en la parte superior del horizonte. Límite brusco y plano.
6C8	>91	Gris (5Y 6/1) en húmedo y blanco (5Y 8/1) en seco. Textura franca. Sin estructura: aglomerado. Frecuentes poros intersticiales. Presencia de restos de materia orgánica carbonizada de color negro. Pocos fragmentos de grava de naturaleza similar a travertinos calizos. Fuertemente calcáreo. Se presentaba encharcado en el momento de la descripción del suelo. Recuerda a un horizonte cálcico, por lo que probablemente estuvo asociado a los glaciares que rodean a la depresión.

RESULTADOS ANALÍTICOS

HOR.	Prof. (cm)	ARENA (%)	LIMO (%)	ARCILLA (%)	CaCO ₃ (%)	pH (H ₂ O)	pH (KCl)	C.O (%)	N (%)
A	0-6/7	3,7	51,4	44,9	8,7	8,5	8,3	1,07	0,07
C1	6/7-19/21	3,7	50,3	46,0	11,5	8,8	8,6	0,91	0,09
2C2	19/21-23/26	41,8	26,8	31,4	15,8	8,8	8,6	0,66	0,06
3C3	23/26-33/36	81,5	7,2	11,3	7,3	8,9	8,8	0,22	0,01
4C4	33/36-38/46	15,6	68,3	16,1	9,5	8,8	8,7	0,35	0,04
4C5	38/46-57	14,4	63,2	22,4	25,4	8,8	8,7	0,37	0,04
4C6	57/80	16,1	64,5	19,4	41,6	8,9	8,8	0,41	0,04
5C7	80-91	27,9	50,8	21,3	52,0	8,9	8,8	0,35	0,04
6C8	>91	45,2	36,5	18,3	58,7	8,9	8,8	0,20	0,02

HOR.	SALES SOLUBLES (g·kg ⁻¹)							CE _{es} (dS m ⁻¹)	CE _c (dS m ⁻¹)
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Σ sales		
A	1,26	0,30	6,61	0,42	9,04	4,12	21,76	33,2	83
C1	1,80	0,32	5,99	0,41	5,64	8,05	22,21	33,1	87
2C2	1,42	0,22	4,70	0,34	4,22	6,66	17,56	30,5	74
3C3	0,51	0,06	0,93	0,04	1,02	1,56	4,12	17,2	29
4C4	2,07	0,34	11,90	0,29	7,65	14,60	36,85	44,2	132
4C5	1,48	0,25	8,66	0,18	5,62	10,83	27,01	31,7	74
4C6	1,72	0,27	10,14	0,26	8,89	8,62	29,90	36,8	86
5C7	1,80	0,29	10,92	0,28	11,68	6,66	31,63	39,4	104
6C8	1,75	0,29	11,64	0,31	13,33	5,97	33,29	49,3	137

HOR.	SALES DEL EXT.SAT. (mmol·dm ⁻³)							RAS	Yeso (%)	SO ₄ /Cl
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Σ sales			
A	117,0	46,3	531,9	19,8	472,4	159,0	1346,3	58,8	2,3	0,34
C1	170,0	49,6	491,0	19,8	300,0	316,5	1346,8	46,9	2,8	1,06
2C2	141,5	35,5	409,1	17,3	238,0	277,7	1119,2	43,5	3,5	1,17
3C3	82,5	14,9	130,9	3,1	92,7	104,8	428,9	18,8	0,6	1,13
4C4	175,5	47,1	877,1	12,4	365,9	515,6	1993,6	83,2	12,8	1,41
4C5	102,6	28,2	522,7	6,4	220,1	313,4	1193,4	64,6	20,3	1,42
4C6	119,2	31,1	612,3	9,1	348,3	249,5	1369,5	70,5	0,5	0,72
5C7	140,6	36,7	741,8	11,2	514,8	216,9	1662,0	78,8	1,4	0,42
6C8	168,0	45,5	973,1	15,4	723,1	239,3	2164,4	94,2	0,3	0,33

HOR.	D. A. (kg m ⁻³)	Análisis elemental (%)			Óxidos de hierro (%)		
		Sit	Mnt	Fet	Fed	Feo	Feo/Fed
A	1320	20,1	0,09	4,49	1,56	0,426	0,273
C1	1340	18,5	0,08	3,99	1,25	0,310	0,248
2C2	1370	19,9	0,09	4,23	1,09	0,256	0,235
3C3	1620	33,2	0,15	4,86	0,64	0,063	0,098
4C4	1430	17,6	0,05	2,78	0,32	0,187	0,584
4C5	1480	14,8	0,05	2,12	0,26	0,155	0,596
4C6	1400	10,2	0,04	1,87	0,22	0,138	0,627
5C7	1420	9,9	0,03	1,33	0,17	0,109	0,641
6C8	1210	9,2	0,03	1,25	0,13	0,088	0,677

Mineralogía de la fracción arcilla (% , semicuantitativo)						
HOR.	Ilita	Caolinita	Vermiculita	Esmectita	Interest.	Otros
A	80	15	5	nd	nd	nd
C1	80	15	5	nd	nd	calcita
2C2	70	15	10	nd	nd	calcita
3C3	90	10	nd	nd	nd	nd
4C4	75	10	15	nd	nd	nd
4C5	75	10	15	nd	nd	calcita
4C6	75	10	15	nd	nd	calcita
5C7	65	10	25	nd	nd	calcita
6C8	55	10	35	nd	nd	calcita

Especies	Actividad (mmol dm ⁻³)								
	A	C1	2C2	3C3	4C4	4C5	4C6	5C7	6C8
Ca ²⁺	49,3	60,7	49,2	29,6	14,0	8,8	11,2	13,7	16,1
Mg ²⁺	17,7	15,0	10,5	4,69	4,1	2,6	3,3	4,2	5,3
Na ⁺	492,1	427,7	355,9	118,8	492,8	304,1	368,0	452,1	593,0
K ⁺	19,0	18,6	16,2	2,96	7,0	3,8	5,4	6,6	9,0
Cl ⁻	466,1	297,1	235,9	92,3	291,8	137,6	214,1	310,7	428,6
SO ₄ ⁻	29,4	60,4	56,5	26,0	12,6	10,9	7,5	5,6	5,1
CaSO ₄ ⁰	9,81	25,3	22,1	11,8	35,2	19,3	16,8	15,2	16,4
KCl ⁰	0,39	0,24	0,18	0,02	0,20	0,07	0,15	0,27	0,51
KSO ₄ ⁻	0,62	1,26	1,11	0,14	0,69	0,32	0,31	0,29	0,36
Mg(OH) ⁺	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02
MgSO ₄ ⁰	5,73	10,1	7,47	2,78	13,1	7,1	6,2	5,9	6,8
NaCl ⁰	11,5	6,42	4,47	0,74	15,3	5,9	11,3	19,8	35,9
NaSO ₄ ⁻	35,0	63,3	53,2	11,9	98,7	52,7	43,8	40,0	48,1
CaCl ₂ ⁰	0,14	0,07	0,04	0,01	0,11	0,03	0,08	0,21	0,47

PERFIL Salino (depresiones)

RESULTADOS ANALÍTICOS

HOR.	Prof. (cm)	GRAVA (%)	ARENA (%)	LIMO (%)	ARCILLA (%)	CaCO ₃ (%)	pH (H ₂ O)	pH (KCl)	C.I.C. (cmol _e kg ⁻¹)
A	0-5	0	3,4	51,7	44,8	0,5	8,8	8,6	10,41
2C1	5-8	0	46,5	32,6	21,0	9,3	9,0	8,8	5,83
3C2	8-20	0	5,4	22,2	72,4	14,3	8,9	8,8	10,41
4C3	20-35	0	6,6	54,7	38,8	14,6	8,9	8,8	12,50
5C4	35-60	0	36,0	41,0	23,0	10,1	9,0	8,8	7,50
6C5	60-90	0	5,5	38,3	56,2	5,8	8,6	8,5	8,33

HOR.	SALES SOLUBLES (g·kg ⁻¹)							CE _{es} (dS m ⁻¹)	CE _c (dS m ⁻¹)
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Σ sales		
A	4,76	3,51	50,58	0,97	54,33	32,38	146,52	96,8	605
2C1	1,73	0,90	10,35	0,34	11,84	10,41	35,62	42,9	145
3C2	1,98	1,05	14,12	0,53	16,86	11,14	45,96	55,6	189
4C3	1,64	0,85	14,12	0,44	13,11	12,58	42,85	50,8	177
5C4	1,66	0,44	8,47	0,29	10,07	9,34	30,38	42,5	125
6C5	1,89	0,61	11,29	0,34	11,04	12,76	37,93	45,4	155

HOR.	D.A. (kg m ⁻³)	FORMAS DE HIERRO			
		Fet	Fed	Feo	Feo/Fed
A	1290	2,91	0,83	0,165	0,200
2C1	1470	5,18	0,91	0,139	0,153
3C2	1410	3,83	1,02	0,122	0,120
4C3	1340	4,19	1,45	0,276	0,190
5C4	1450	3,99	0,98	0,257	0,262
6C5	1410	3,22	0,74	0,329	0,446

	Actividad (mmol dm ⁻³)					
Especies	A	2C1	3C2	4C3	5C4	6C5
Ca ²⁺	217,8	67,0	81,4	64,3	62,0	69,9
Mg ²⁺	248,2	49,7	62,7	47,5	22,8	31,3
Na ⁺	3954,0	791,5	1095,0	1078,0	640,9	843,1
K ⁺	48,3	16,3	25,8	21,1	13,9	16,2
Cl ⁻	3014,0	658,3	934,4	725,2	560,6	613,7
SO ₄ ⁻	90,2	67,5	63,9	74,0	68,2	84,1
CaSO ₄ ⁰	31,0	20,9	18,8	19,3	22,4	26,6
KCl ⁰	2,95	0,39	0,81	0,53	0,30	0,36
KSO ₄ ⁻	2,80	0,98	1,33	1,30	0,91	1,20
Mg(OH) ⁺	0,19	0,08	0,07	0,06	0,04	0,02
MgSO ₄ ⁰	67,3	26,3	26,5	24,6	13,8	20,3
NaCl ⁰	301,7	22,4	40,6	31,8	16,4	22,0
NaSO ₄ ⁻	544,9	106,2	127,2	149,9	93,0	140,1
CaCl ₂ ⁰	11,0	0,28	0,61	0,30	0,21	0,25

PERFIL CABO DE GATA-ESCULOS CARACTERÍSTICAS MACROMORFOLÓGICAS

Clasificación: Luvisol cálcico ródico (WRB, 1999). Rhodoxeralf cálcico (USDA, 1999).

Fecha de observación: 1 de julio de 2005.

Situación: Barranco del Paraíso. La Isleta del Moro-Níjar.

Provincia: Almería.

Coordenadas UTM: 30SWF834759.

Altitud: 110 m.

Posición fisiográfica: Ladera.

Forma del terreno circundante: Montañoso.

Pendiente: Moderadamente escarpado (20 %).

Vegetación o uso de la tierra: Espartal-Cornical-Palmital.

Material original: Piedemonte de andesitas.

Drenaje: Clase 4. Bien drenado.

Condiciones de humedad: Seco en todo el perfil.

Pedregosidad: Clase 4. Excesivamente pedregoso. Gravas y piedras.

Afloramientos: Clase 1. Moderadamente rocoso.

Erosión: Hidrica laminar intensa, en surcos moderada.

Evidencias de erosión en el perfil: Pérdida de horizontes.

Presencia de sales o álcalis: No.

Influencia humana: Pastoreo y restos de terraza de antiguo cultivos.

Hor.	Prof. (cm)	Descripción
Ah	0 – 21/31	Pardo rojizo oscuro (5YR 3/4) en húmedo, y rojo amarillento (5YR 4/6) en seco. Textura franco arcillosa. Estructura fuerte, en bloques angulares y subangulares, gruesos y finos. Ligeramente plástico, ligeramente adherente, friable y duro. Abundantes poros vesiculares finos y medianos, exped e inped; frecuentes intersticiales finos, inped. Abundantes gravas andesíticas ligeramente alteradas. Muy ligeramente calcáreo. Frecuentes raíces finas y muy finas; algunas raíces gruesas. Límite inferior neto y ondulado.
Bt	21/31- 47/57	Rojo oscuro en húmedo y en seco (2,5YR 3/6). Textura arcillosa. Estructura fuerte, en bloques angulares medianos y gruesos. Adherente, plástico, friable y duro. Abundantes poros intersticiales, exped e inped. Grietas de 1 a 6 mm. Muy pocas gravas andesíticas, ligeramente alteradas. Muy ligeramente calcáreo. Abundantes raíces finas y muy finas, alguna mediana. Límite inferior gradual y ondulado.
Btk	47/? – 86/97	Rojo oscuro (10R 3/6) en húmedo, y rojo (10R 4/6) en seco. Textura arcillosa. Estructura fuerte, en bloques angulares medianos y finos. Adherente, plástico, friable y muy duro. Abundantes poros intersticiales finos y gruesos, exped e inped. Pocas gravas andesíticas, ligeramente alteradas. Abundantes nódulos de carbonatos, amarillo rojizos (5YR 7/6), irregulares, grandes y blandos. Fuertemente calcáreo. Frecuentes raíces finas, pocas gruesas. Límite gradual y ondulado.
Ck	> 82/97	Rojo (2,5YR 5/8) en húmedo y en seco (2,5YR 5/6). Textura franco arcillosa. Estructura fuerte, en bloques subangulares finos y muy finos. Abundantes poros intersticiales finos, exped e inped. Abundantes gravas andesíticas, ligeramente alteradas. Fuertemente calcáreo. Ligeramente cementado con carbonatos. Escasas raíces finas y muy finas.

Ah (b) 0 – 25/35

Rojo oscuro (2,5YR 3/2) en húmedo, y en seco (2,5YR 3/3). Textura arcillosa. Estructura granular fuerte, mediana a fina. Ligeramente adherente, plástico, friable y duro. Abundantes poros vesiculares, frecuentes intersticiales, exped e inped. Frecuentes gravas andesíticas, ligeramente alteradas. Muy ligeramente calcáreo. Muy abundantes raíces finas y muy finas, alguna mediana. Límite gradual y ondulado.

RESULTADOS ANALÍTICOS

HOR.	Prof. (cm)	GRAVA (%)	ARENA (%)	LIMO (%)	ARCILLA (%)	CaCO ₃ (%)	pH (H ₂ O)	pH (KCl)	CE _{1:10} (dS m ⁻¹)
Ah	0-21	44,5	22,0 (39,6)	15,2 (27,4)	18,4 (33,1)	0,0	8,1	7,4	0,29
Bt	21-47	1,9	10,8 (11,0)	10,6 (10,8)	76,7 (78,2)	0,0	8,3	7,2	0,28
Btk	47-82	4,8	18,2 (19,1)	18,8 (19,7)	58,2 (61,2)	13,7	9,1	7,9	0,38
Ck	82-95	34,2	20,9 (31,7)	21,3 (32,4)	23,6 (35,9)	37,6	8,4	7,9	0,68
Ah(b)	0-25	19,4	21,7 (26,9)	21,3 (26,4)	37,6 (46,7)	0,0	8,5	7,5	0,26

(sólo tierra fina)

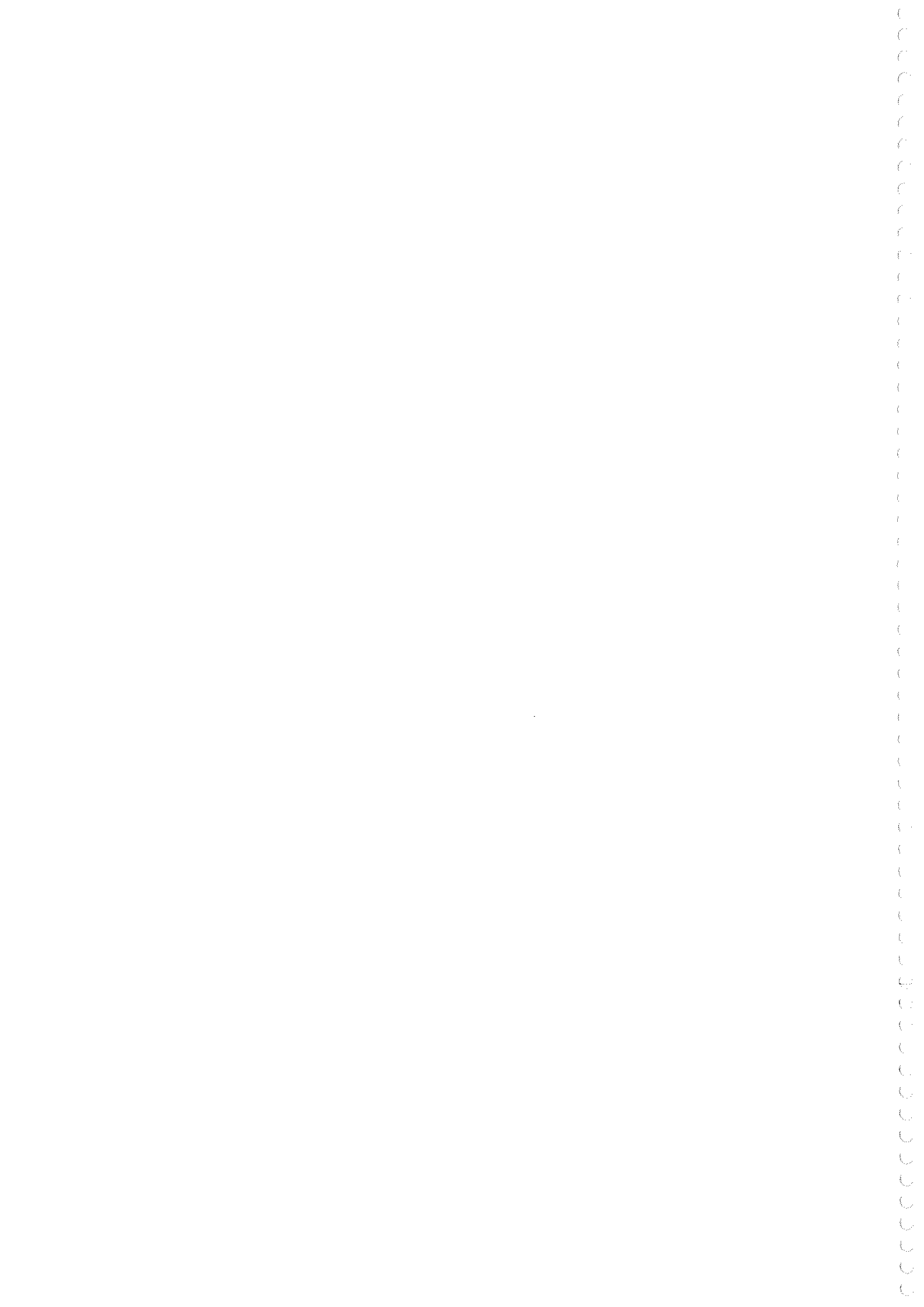
HOR.	Bases y capacidad de cambio (cmol _c kg ⁻¹)					V(%)	C.O. (%)	N(%)	1500 kPa	33 kPa	D. A. (kg m ⁻³)
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	C.I.C.						
Ah	sat	1,40	1,02	0,33	14,16	100	1,36	0,12	12,74	20,69	1370
Bt	sat	5,10	2,42	0,73	27,91	100	1,02	0,11	26,98	38,19	1270
Btk	sat	5,09	1,91	3,96	14,16	100	0,44	0,04	23,73	35,23	1390
Ck	sat	2,98	0,64	5,83	10,83	100	0,25	0,01	12,14	21,74	1480
Ah(b)	sat	1,85	1,02	0,63	21,24	100	1,96	0,10	17,60	25,35	1240

HOR.	Análisis elemental (%)			Óxidos de Fe (%)		Razones más significativas				
	Sit	Alt	Fet	Fed	Feo	Sit/Fet	Fet/Alt	Sit/Alt	Fed/Fet	Feo/Fed
Ah	30,79	7,71	3,83	1,41	0,048	8,04	0,49	3,99	0,368	0,034
Bt	24,64	12,21	5,44	2,38	0,087	4,53	0,45	2,02	0,438	0,036
Btk	22,58	9,64	4,13	1,55	0,056	5,46	0,43	2,34	0,375	0,036
Ck	18,69	5,55	2,57	0,53	0,019	7,27	0,46	3,37	0,206	0,036
Ah(b)	28,84	8,75	4,18	1,48	0,056	6,90	0,48	3,30	0,354	0,038

Ext. oxalato amónico (%)				Ext. pirofosfato sódico (%)						
HOR.	Feo	AlO	Sio	Fep	Alp	Sip	Cp	Alofana (%)	Ferrihidrita (%)	Retención P (%)
Ah	0,057	0,082	0,041	0,020	0,072	0,123	0,73	0,18	0,10	13,23
Bt	0,100	0,221	0,042	0,016	0,043	0,085	0,50	5,18	0,17	35,79
BCK	0,065	0,144	0,031	0,005	0,021	0,083	0,40	1,35	0,11	89,90
Ck	0,027	0,051	0,020	0,006	0,022	0,055	0,50	0,13	0,05	97,33
Ah	0,068	0,093	0,031	0,039	0,122	0,204	1,33	0,11	0,12	21,31

Extracción con oxalato amónico 0,2M pH3, suelo/solución ratio de 1:50 (Blakemore et al., 1981, Van Reeuwijk, 1993)
Extracción con pirofosfato sódico 0,1M, suelo/solución ratio 1:100 (Blakemore et al., 1981, Van Reeuwijk, 1993)

Mineralogía de la fracción arcilla (% , semicuantitativo)						
HOR.	Ilita	Caolinita	Vermiculita	Esmectita	Interest.	Otros
Ah	80	20	nd	nd	I-V	nd
Bt	80	20	nd	nd	I-V	nd
Btk	80	20	nd	nd	I-V	calcita
Ck	40	10	50	nd	I-V	calcita
Ah(b)	80	20	nd	nd	I-V	nd



23 DE SEPTIEMBRE

VISITA A LA SIERRA DE LOS FILABRES

VISITA A LAS CANTERAS DE MÁRMOL DE MACAEL

PERFIL FILABRES 1

CARACTERÍSTICAS MACROMORFOLÓGICAS

Clasificación: Luvisol cálcico crómico cutánico (WRB, 1999). Rhodoxeralf petrocálcico (USDA, 1999).
Fecha de observación: 4 de noviembre de 2004.
Situación: Cinco kilómetros al oeste de Gérgal.
Provincia: Almería.
Coordenadas UTM: 30SWG356084.
Altitud: 787 m.
Posición fisiográfica: Pendiente cóncava (glacis).
Forma del terreno circundante: Montañoso.
Pendiente: Inclinado (8%).
Vegetación o uso de la tierra: Retamal y cultivo de almendros.
Material original: Coluvios de micasquistos grafitosos, micasquistos feldespáticos y cuarcitas.
Drenaje: Clase 2. Imperfectamente drenado (vertical). Clase 4. Bien drenado (lateral).
Condiciones de humedad: Seco todo el perfil.
Pedregosidad: Clase 3. Muy pedregoso (gravas).
Afloramientos: Clase 0. Ninguna o muy pocas rocas.
Erosión: Hídrica laminar severa.
Evidencias de erosión en el perfil: Pérdida de horizontes y evidencias de deslizamientos en masa.
Presencia de sales o álcalis: Clase 0. Libre de sales.
Influencia humana: Destinado desde antiguo a uso agrícola y ganadero.

Hor.	Prof. (cm)	Descripción
Ap	0 – 10/15	Pardo rojizo oscuro (5YR 3/4) en húmedo y pardo rojizo (5YR 4/4) en seco. Textura franco arcillo arenosa. Estructura en bloques subangulares moderados de medianos a gruesos (existe una pequeña capa de 1 cm de espesor en superficie con una cierta estructura laminar). Ligeramente adherente, plástico, firme y duro. Pocos poros intersticiales muy finos, discontinuos y frecuentes medianos, continuos; pocos poros tubulares, finos, continuos y caóticos. Frecuentes gravas y piedras, redondeadas y subredondeadas, de micasquistos grafitosos, micasquistos feldespáticos y cuarcitas, poco alteradas. No calcáreo. Comunes raíces finas y medianas. Límite brusco y ligeramente ondulado.
Bt	10/15 – 55/60	Rojo oscuro (2,5YR 3/6) en húmedo y en seco (2,5YR 4/6). Textura arcillosa. Estructura fuerte, de prismática a bloques angulares de medianos a gruesos. Ligeramente adherente, plástico, firme y duro. Evidencia de cutanes. Pocos poros tubulares, muy finos, continuos, caóticos y simples; frecuentes poros intersticiales finos y continuos. Frecuentes gravas y piedras, redondeadas y subredondeadas, de micasquistos grafitosos, micasquistos feldespáticos y cuarcitas, poco alteradas. No calcáreo. Evidencias de antigua suela de labor. Comunes raíces finas. Límite brusco y ondulado.
2C1km	55/60–67/78	Rojo amarillento (5YR 4/6) en húmedo y en seco (5YR 5/6). Textura franco arcillosa. Sin estructura: aglomerado. Cementado con revestimientos de carbonatos entre granos minerales. Frecuentes a abundantes gravas redondeadas y subredondeadas de micasquistos grafitosos, micasquistos feldespáticos y cuarcitas, poco alteradas. Está fisurado en algunas zonas. Fuertemente calcáreo. Comunes raíces finas en las zonas de ruptura. Límite neto y ondulado.
2C2km	67/78-85/100	Pardo (7,5YR 5/4) en húmedo y rosa (7,5YR 7/4) en seco. Textura franca. Sin estructura: aglomerado, aunque tiende a estar más fragmentado y algo menos cementado que el horizonte anterior. Frecuentes gravas y piedras redondeadas y subredondeadas de micasquistos grafitosos, micasquistos feldespáticos y cuarcitas, poco alteradas. Fuertemente calcáreo. Pocas raíces medianas. Límite neto y ondulado.

2C3k	85/100-190	Pardo pálido (10YR 6/3) en húmedo y pardo muy claro (10YR 7/3) en seco. Textura franca. De suelto a estructura fuerte en bloques angulares de finos a medianos. Ligeramente adherente, ligeramente plástico, friable y ligeramente duro. Revestimientos calcáreos entre caras verticales y horizontales de agregados, formando puentes entre agregados y granos minerales y tapizando paredes de poros. Débilmente cementado en general, aunque hay zonas con mayor cementación. Muchos poros vesiculares, muy finos y discontinuos; muchos poros intersticiales muy finos y finos, continuos y abiertos. Abundantes gravas, piedras y pedregones redondeados, de micasquistos grafitosos, micasquistos feldespáticos y cuarcitas, poco alterados. Fuertemente calcáreo. Muy pocas raíces finas y medianas. Limite gradual y ondulado.
3C4k	>190	Gris muy oscuro (5Y 3/1) en húmedo y gris (5Y 5/1) en seco. Textura de arenosa a arenosa franca. Sin estructura: grano suelto. Algunas zonas ligeramente cementadas. Revestimientos calcáreos entre granos minerales. Frecuentes gravas y piedras redondeadas y subredondeadas de micasquistos grafitosos, micasquistos feldespáticos y cuarcitas, no alteradas, dispuestas paralelamente a la pendiente. Calcáreo, con algunos nódulos de carbonato cálcico y recubrimientos blancos en las caras inferiores de las gravas.

RESULTADOS ANALÍTICOS

HOR.	Prof. (cm)	GRAVA (%)	ARENA (%)	LIMO (%)	ARCILLA (%)	CaCO ₃ (%)	pH (H ₂ O)	pH (KCl)	CE _{es} (dS m ⁻¹)
Ap	0-10/15	22,5	51,0 (65,8)	9,9 (12,8)	16,5 (21,3)	0,14	8,1	7,0	2,06
Bt	10/15-55/60	14,8	38,9 (45,7)	11,1 (13,0)	35,2 (41,3)	0,14	8,3	7,2	2,01
2C1km	55/60-67/78	58,0	15,0 (35,8)	12,0 (28,6)	15,0 (35,7)	38,10	8,5	7,5	2,33
2C2km	67/78-85/100	73,8	11,3 (43,2)	8,4 (32,2)	6,4 (24,6)	52,35	8,2	7,8	2,48
2C3k	85/100-190	70,2	14,6 (49,1)	10,2 (34,3)	4,9 (16,6)	50,75	8,7	7,1	2,31
3C4k	>190	71,9	24,3 (86,3)	2,3 (8,1)	1,6 (5,7)	17,1	9,4	8,2	2,23

(sólo tierra fina)

HOR.	Bases y capacidad de cambio (cmol _c kg ⁻¹)					HUMEDAD (%)					
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	C.I.C.	V (%)	C.O. (%)	N (%)	1500 kPa	33 kPa	D. A. (kg m ⁻³)
Ap	8,68	0,50	0,16	0,40	8,33	100	0,56	0,20	6,28	10,69	1530
Bt	14,50	0,88	0,32	0,28	9,16	100	0,30	0,08	10,75	17,60	1490
2C1km	23,40	0,85	0,28	0,23	9,16	100	0,53	0,06	10,39	18,55	1460
2C2km	23,10	0,88	0,43	0,10	4,17	100	0,42	0,05	7,51	17,75	1500
2C3k	26,60	1,10	0,35	0,09	2,92	100	0,16	0,01	4,90	15,12	1560
3C4k	16,00	1,31	0,47	0,20	2,92	100	0,12	0,01	2,61	4,13	1650

HOR.	Análisis elemental (%)			Óxidos de Fe (%)		Razones más significativas				
	Sit	Alt	Fet	Fed	Feo	Sit/Fet	Fet/Alt	Sit/Alt	Fed/Fet	Feo/Fed
Ap	35,08	5,53	4,30	2,14	0,042	8,16	0,78	6,34	0,498	0,020
Bt	31,74	8,14	4,76	2,55	0,054	6,67	0,58	3,90	0,536	0,021
2C1km	18,69	5,52	2,82	0,94	0,033	6,63	0,51	3,39	0,333	0,035
2C2km	16,03	3,49	1,62	0,45	0,014	9,89	0,47	4,60	0,278	0,022
2C3k	17,42	3,32	1,60	0,44	0,006	10,89	0,48	5,25	0,275	0,011
3C4k	16,07	3,22	1,50	0,43	0,003	10,71	0,47	4,99	0,287	0,007

Mineralogía de la fracción arcilla (% , semicuantitativo)							
HOR.	Ilita	Caolinita	Vermiculita	Esmectita	Clorita	Interest.	Otros
Ap	75	25	nd	nd	nd	nd	
Bt	75	25	nd	nd	nd	nd	
2C1km	60	35	5	nd	nd	nd	calcita
2C2km	45	35	20	nd	nd	nd	calcita
2C3k	55	15	30	nd	nd	I-V	calcita
3C4k	60	15	25	nd	nd	I-V	

La presencia de CO₂C se explica por meteorización de la pizarra pero la presencia de cantos intactos en el h. CK nos indica un suelo joven procedente de un suelo mucho más antiguo.

PERFIL FILABRES 2

CARACTERÍSTICAS MACROMORFOLÓGICAS

Clasificación: Calcisol háplico / Luvisol cálcico cutánico (WRB, 1999). Calcixerept típico / Haploxeralf cálcico (USDA, 1999).

Fecha de observación: 4 de noviembre de 2004.

Situación: Un kilómetro al norte de Aulago.

Provincia: Almería.

Coordenadas UTM: 30SWG328138.

Altitud: 1185 m.

Posición fisiográfica: Ladera.

Forma del terreno circundante: Montañoso.

Pendiente: Escarpado (42%).

Vegetación o uso de la tierra: Espartal con genista, retama y tomillo.

Material original: Coluvios de micasquistos grafitosos, micasquistos feldespáticos y cuarcitas.

Drenaje: Clase 4. Bien drenado.

Condiciones de humedad: Seco todo el perfil.

Pedregosidad: Clase 3. Muy pedregoso. Gravas, piedras y algún pedregón.

Afloramientos: Clase 0. Ninguna o muy pocas rocas.

Erosión: Hídrica severa, laminar, en surcos y cárcavas.

Evidencias de erosión en el perfil: Desaparición de horizontes e incremento de arena en superficie.

Presencia de sales o álcalis: Clase 0. Libre de sales.

Influencia humana: Aterrazamientos, repoblaciones, pastoreo y caza.

Hor.	Prof. (cm)	Descripción
Ap	0 - 12	Pardo muy oscuro (7,5YR 2,5/2) en húmedo y pardo (7,5YR 4/2) en seco. Textura franco arcillo arenosa. Estructura moderada, de granular mediana a bloques subangulares finos a medianos. Ligeramente adherente, ligeramente plástico, friable y ligeramente duro. Superficies de presión. Frecuentes poros intersticiales muy finos, discontinuos e inped; frecuentes poros tubulares finos y medianos, continuos, exped y caóticos. Frecuentes gravas y piedras subangulares, de micasquistos grafitosos, micasquistos feldespáticos y cuarcitas, poco alteradas. Pseudomicelios de carbonatos. Calcáreo. Claras evidencias de actividad biológica. Comunes raíces muy finas y finas. Límite neto y plano.
Bt	12 - 15/64	Pardo oscuro (7,5YR 3/3) en húmedo y pardo (7,5YR 4/3) en seco. Textura franco arcillosa. Estructura fuerte, de granular a bloques angulares finos y medianos. Ligeramente adherente, ligeramente plástico, friable y ligeramente duro. Frecuentes superficies de presión. Pocos poros intersticiales muy finos y discontinuos, inped; muchos poros inersticiales muy finos y finos, continuos, exped. Frecuentes gravas y piedras subangulares, de la misma naturaleza que en el horizonte anterior, poco alteradas. Pseudomicelios de carbonatos. Calcáreo. Claras evidencias de actividad biológica. Abundantes raíces muy finas y finas. Límite brusco e irregular.
C1k	15/64-80/90	Pardo (10YR 5/3) en húmedo y pardo muy claro (10YR 7/3) en seco. Textura franca. Sin estructura: aglomerado. De pocos a frecuentes poros intersticiales muy finos y finos, discontinuos, cerrados; pocos poros tubulares medianos y gruesos, continuos, caóticos. Frecuentes gravas y piedras subangulares, de la misma naturaleza que las anteriores, poco alteradas. Fuertemente calcáreo. Muy pocas raíces medianas.
2C2k	>80/90	Pardo claro (10YR 6/2) en húmedo y pardo muy claro (10YR 7/2) en seco. Textura franca. Sin estructura: aglomerado. De pocos a frecuentes poros intersticiales muy finos y finos, discontinuos; pocos poros tubulares medianos y gruesos, continuos, caóticos. Menor contenido en fragmentos rocosos que el horizonte anterior, de tamaño grava, subangulares, de idéntica naturaleza a los anteriores, poco alterados. Fuertemente calcáreo. Muy pocas raíces medianas.

RESULTADOS ANALÍTICOS

HOR.	Prof. (cm)	GRAVA (%)	ARENA (%)	LIMO (%)	ARCILLA (%)	CaCO ₃ (%)	pH (H ₂ O)	pH (KCl)	CE _{es} (dS m ⁻¹)
Ap	0-12	43,1	29,0 (51,0)	14,9 (26,2)	13,0 (22,8)	6,1	8,2	7,5	2,41
Bt	12-15/64	37,6	24,7 (39,6)	13,9 (22,2)	23,8 (38,2)	3,3	8,4	7,4	2,29
C1k	15/64-80/90	44,3	19,8 (35,5)	21,8 (39,2)	14,1 (25,3)	31,3	8,8	7,6	2,23
2C2k	> 80/90	24,8	27,7 (36,9)	31,1 (41,3)	16,4 (21,8)	38,3	8,9	7,6	2,00

(sólo tierra fina)

HOR.	Bases y Capacidad de Cambio (cmol _c kg ⁻¹)					HUMEDAD (%)					
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	C.I.C.	V (%)	C.O. (%)	N (%)	1500 kPa	33 kPa	D. A. (kg m ⁻³)
Ap	21,48	0,75	0,26	0,29	14,16	100	1,71	0,13	10,40	15,59	1360
Bt	23,15	0,67	0,33	0,20	13,33	100	0,51	0,05	12,60	19,28	1460
C1k	23,98	0,69	0,22	0,11	9,16	100	0,30	0,03	8,73	18,39	1510
2C2k	24,75	0,65	0,20	0,06	7,91	100	0,41	0,04	9,48	24,24	1500

HOR.	Análisis elemental (%)			Óxidos de Fe (%)		Razones más significativas				
	Sit	Alt	Fet	Fed	Feo	Sit/Fet	Fet/Alt	Sit/Alt	Fed/Fet	Feo/Fed
Ap	28,04	8,07	4,14	1,36	0,031	6,77	0,51	3,47	0,328	0,023
Bt	28,68	8,97	4,14	1,49	0,037	6,93	0,46	3,20	0,360	0,025
C1k	18,55	5,37	2,46	0,97	0,016	7,54	0,46	3,45	0,394	0,016
2C2k	19,96	4,99	2,47	0,62	0,006	8,08	0,49	4,00	0,250	0,010

Mineralogía de la fracción arcilla (% , semicuantitativo)							
HOR.	Ilita	Caolinita	Vermiculita	Esmectita	Clorita	Interest.	Otros
Ap	45	25	30	nd	nd	I-V	calcita
Bt	45	25	30	nd	nd	I-V	calcita
C1k	45	25	30	nd	nd	I-V	calcita
2C2k	20	10	70	nd	nd	I-V	calcita

PERFIL FILABRES 3 CARACTERÍSTICAS MACROMORFOLÓGICAS

Clasificación: Luvisol ródico cutánico (WRB, 1999). Rhodoxeralf típico (USDA, 1999).

Fecha de observación: 4 de noviembre de 2004.

Situación: Un kilómetro y medio al suroeste del Cortijo del Cura Morales..

Provincia: Almería.

Coordenadas UTM: 30SWG323155.

Altitud: 1346 m.

Posición fisiográfica: Pendiente cóncava.

Forma del terreno circundante: Montañoso.

Pendiente: Clase 5. Escarpado.

Vegetación o uso de la tierra: Espartal con retama.

Material original: Micasquistos grafitosos y feldespáticos.

Drenaje: Clase 4. Bien drenado.

Condiciones de humedad: Seco todo el perfil.

Pedregosidad: Clase 4. Excesivamente pedregoso (gravas, piedras y pedregones).

Afloramientos: Clase 0. Ninguna o muy pocas rocas.

Erosión: Hídrica laminar.

Evidencias de erosión en el perfil: Pérdida de horizontes y enterramiento.

Presencia de sales o álcalis: Clase 0. Libre de exceso.

Influencia humana: Caza y pastoreo.

Hor.	Prof. (cm)	Descripción
A	0 - 25	Pardo muy oscuro (10YR 2/2) en húmedo y pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2) en seco. Textura franco arenosa. Estructura de débil a moderada, migajosa y en bloques subangulares muy finos, finos y medianos. Ligeramente adherente, ligeramente plástico, friable y ligeramente duro. Muchos poros inped y exped, abiertos, caóticos y de todos los tipos. Abundantes gravas y piedras angulares y subangulares, de micasquistos y cuarcitas, poco alteradas. Evidencias de actividad biológica (nidos de insectos y hormigueros). Abundantes raíces muy finas y finas. Límite neto y plano.
Btb	25 - 82	Rojo oscuro (2,5YR 3/3) en húmedo y en seco (2,5YR 4/3). Textura arcillosa. Estructura fuerte, en bloques angulares medianos; Adherente, plástico, firme y duro. Abundantes cutanes y superficies de presión. Pocos poros intersticiales inped y frecuentes exped, de finos a medianos, continuos. Abundantes gravas y piedras angulares, de micasquistos y cuarcitas, poco alteradas. De comunes a abundantes raíces muy finas y finas. Límite brusco e irregular.
Cb	> 82	Rojo oscuro (2,5YR 3/3) en húmedo y en seco (2,5YR 4/3). Textura arcillosa. Estructura fuerte, en bloques angulares gruesos y medianos fundamentalmente. Adherente, plástico, firme y duro. Abundantes cutanes y superficies de presión. Pocos poros intersticiales inped y frecuentes exped, de finos a medianos, continuos. Este material fino, muy similar al del horizonte Bt suprayacente, se sitúa entre las "lajas" del material original, de forma que la estructura de la roca original se conserva en más del 50% del total del volumen del horizonte, de ahí que se considere horizonte C.

RESULTADOS ANALÍTICOS

HOR.	Prof. (cm)	GRAVA (%)	ARENA (%)	LIMO (%)	ARCILLA (%)	CaCO ₃ (%)	pH (H ₂ O)	pH (KCl)	CE _{es} (dS m ⁻¹)
A	0-25	41,1	36,0 (61,1)	15,7 (26,6)	7,3 (12,3)	0,0	8,4	7,5	1,25
Bt1	25-82	14,3	10,2 (11,9)	13,0 (15,1)	62,5 (73,0)	0,0	7,8	6,4	1,28
Bt2	>82	18,8	11,0 (13,5)	9,3 (11,5)	60,9 (75,0)	0,0	8,1	6,7	1,20

(solo tierra fina)

HOR.	Bases y Capacidad de Cambio (cmol _c kg ⁻¹)					HUMEDAD (%)					
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	C.I.C.	V(%)	C.O.(%)	N(%)	1500 kPa	33 kPa	D. A. (kg m ⁻³)
A	7,85	0,52	0,20	0,28	5,83	100	0,82	0,06	5,55	12,46	1510
Bt1	22,88	3,19	0,31	0,20	20,41	100	0,46	0,06	22,71	31,01	1350
Bt2	24,48	3,42	0,37	0,23	17,49	100	0,54	0,05	23,16	32,61	1340

HOR.	Análisis elemental (%)			Óxidos de Fe (%)		Razones más significativas				
	Sit	Alt	Fet	Fed	Feo	Sit/Fet	Fet/Alt	Sit/Alt	Fed/Fet	Feo/Fed
A	29,64	9,34	5,10	1,09	0,051	5,81	0,55	3,17	0,214	0,046
Bt1	22,79	13,39	7,13	3,46	0,085	3,20	0,53	1,70	0,485	0,025
Bt2	23,21	13,53	7,31	3,43	0,095	3,18	0,54	1,71	0,469	0,028
Roca	26,34	11,92	5,9	1,02		4,46	0,49	2,21	0,173	

Mineralogía de la fracción arcilla (% , semicuantitativo)						
HOR.	Ilita	Caolinita	Vermiculita	Esmectita	Interest.	Otros
A	75	20	nd	nd	nd	nd
Bt1	65	30	5	nd	I-V	nd
Bt2	50	30	20	nd	I-V	nd

EXPLOTACIÓN DE LAS CANTERAS DE MÁRMOL DE MACAEL

HISTORIA

La extracción y la elaboración del mármol son actividades muy arraigadas históricamente en la comarca. Sus inicios se remonta a los fenicios, quienes lo usaban para realizar ataúdes. Los romanos lo llevaron a Itálica y al teatro de Mérida, los árabes de la refinada cultura de Al Andalus lo utilizaron en la Alhambra de Granada, la Alcazaba de Almería, la Mezquita de Córdoba y Medina Azahara. Después de la finalización del dominio musulmán se ha utilizado el mármol de Macael en la Capilla Real de los Reyes Católicos en Granada (1521), el monasterio de El Escorial (1581), la catedral de Jaén (1655), el Palacio Real de Madrid (1792), así como en numerosos palacios renacentistas, catedrales barrocas, etc. Más recientemente se ha utilizado en pabellones de la Exposición Universal de Sevilla de 1992. De los primeros tiempos de explotación minera data el "Macael viejo". Se levantaba sobre un montículo rocoso al sur de su actual ubicación, pero el tiempo y la actividad frenética de la zona lo sepultaron en la historia, convirtiendo su emplazamiento en una cantera que no ha dejado restos de este antiguo poblado minero y musulmán.

ÁMBITO GEOGRÁFICO

La explotación de mármol más intensa y de mayor volumen se da en el término Municipal de Macael, en cuya sierra se concentra el 80-90% de las canteras. Otras explotaciones aisladas se localizan entre el río Laroya (al oeste) y el río Jauto (al este) y entre Macael y el Chive (al norte y al sur, respectivamente). Afecta a los términos municipales de Macael, Líjar, Chercos, Cóbdar y Lubrín, todos ellos en la provincia de Almería. De modo general se puede hablar de cuatro áreas de extracción: Sierra de Macael, Líjar-Chercos-Cóbdar, Rambla Aljibe-Sierra Lisbona y Chive.

CARACTERÍSTICAS GENERALES

El área de extracción del mármol se localiza en el sector centro-oriental de la Sierra de Los Filabres, en la Zona Interna de las Cordilleras Béticas. Está constituida por rocas pertenecientes al Complejo Nevadofilábride, con un zócalo esquistoso de edad precámbrica-permotriásica y una cobertera carbonatada de edad permotriásica-triásica. Los materiales que afloran en el área de extracción corresponden en su mayor parte a micaesquistos y rocas carbonatadas de la formación Las Casas. Los suelos dominantes en la zona son Leptosoles líticos, Leptosoles calcáricos, Calcisoles háplicos y Regosoles clacáricos. Presentan una baja capacidad agrológica y soportan cultivos extensivos esporádicos de cereal (en zonas llanas), de almendros y olivos. La escasa profundidad efectiva, la elevada pedregosidad, la baja fertilidad y la abrupta topografía dificultan la utilización agrícola de estos suelos, en ocasiones abandonados por los agricultores. Esto hace que la Comarca del Mármol presente tasas de pérdida de suelo por erosión comprendidas entre 100 y 200 Mg/ha/año, para la zona de canteras de Macael, y entre 50 y 100 Mg/ha/año para el resto de las zonas. Desde una óptica de conservación, el grado de cobertura vegetal que presentan los suelos es muy bajo y, a excepción de las zonas repobladas o de matorral no degradado, se caracterizan por amplias áreas desprovistas de toda vegetación o con formaciones vegetales ralas y esquilmadas.

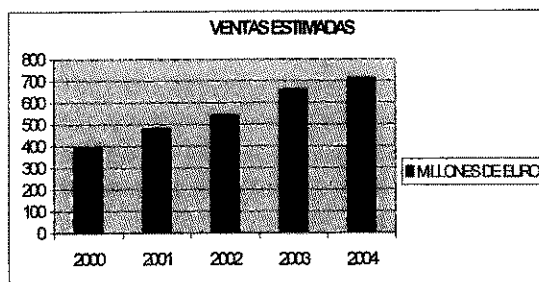
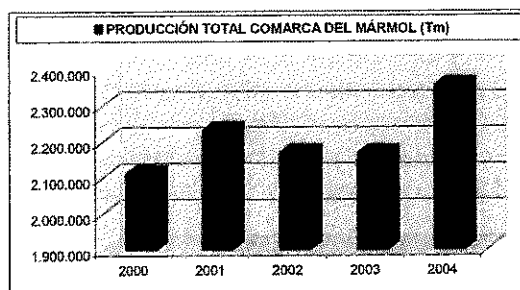
CARACTERÍSTICAS SOCIOECONÓMICAS

La Comarca del Mármol de Almería constituye la principal zona de extracción y transformación de mármol de Andalucía y la primera de España en cuanto a reservas, calidad del mármol y valor de la producción. España es el segundo país productor de mármol del mundo, lo que habla por sí solo de la importancia socioeconómica del sector, siendo la extracción de mármol la

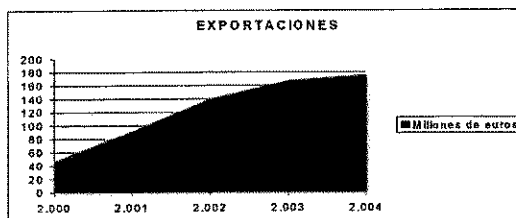
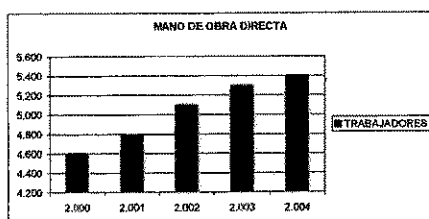
segunda fuente de ingresos del sector primario almeriense, tras el cultivo bajo plástico. Exporta sus productos a Estados Unidos, Alemania, Reino Unido, Países Bajos, Irlanda, Francia, Bélgica, Luxemburgo, Portugal, Italia, Japón y Marruecos. Atendiendo a los datos aportados por los últimos censos de población se constata que la Comarca del Mármol es la única área del interior de la provincia de Almería que tiene una evolución no recesiva.

DATOS SOCIO-ECONÓMICOS

EXTRACCIÓN DE MÁRMOL (Mg)				
AÑO	PRODUCCIÓN MACAEL	PRODUCCIÓN OTROS BLANCOS	PRODUCCIÓN COLORES	TOTAL
2000	1.196.991	269.323	645.240	2.111.554
2001	1.269.473	285.650	677.100	2.232.223
2002	1.187.410	274.800	707.300	2.169.510
2003	1.183.760	273.700	710.200	2.167.660
2004	1.361.750	263.900	730.200	2.356.150



NÚMERO DE EMPRESAS Y EMPLEO DIRECTO		
TIPO DE EMPRESA	Nº EMPRESAS	Nº TRABAJADORES
EXTRACCIÓN	100	510
ELABORACIÓN	145	3.730
ARTESANÍA	62	1.160
TOTALES	307	5.400



Nº MUNICIPIOS Y POBLACIÓN AFECTADOS POR LA INDUSTRIA DEL MÁRMOL		
	Nº MUNICIPIOS AFECTADOS	Nº HABITANTES
PUEBLOS DIRECTOS	11	22.449
PUEBLOS INDIRECTOS	18	23.754
TOTAL COMARCA	29	TOTAL HABITANTES 46.203

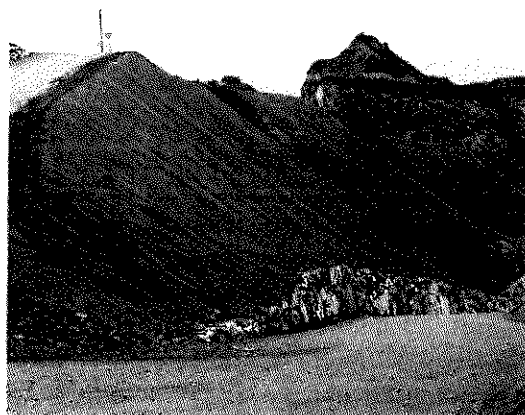
LA ACTIVIDAD EXTRACTIVA EN MACAEL

Gracias al Plan de Actuación Global de la Comarca del Mármol, en 1983 se consiguió el relanzamiento definitivo de la comarca. Sin embargo, nunca se tuvieron en cuenta criterios de carácter medioambiental. En los últimos años se ha generado, debido al recubrimiento que tiene el mineral, un movimiento de estéril de unos 5 millones de metros cúbicos anuales. Todo ello ha conducido a una situación medioambiental difícil y a la vez compleja. Por un lado, es evidente la necesidad de incorporar criterios ambientales al desarrollo de la actividad, de poner en marcha medidas que traten de paliar los efectos negativos que ésta comporta y de adecuarla a la normativa que emana de la actual legislación vigente. Por otro lado, la mayoría de los problemas son heredados de una época en la que la legislación ambiental era inexistente y las soluciones hoy son difíciles técnicamente y, en cualquier caso, muy costosas. Esto último se agrava si tenemos en cuenta que, tanto los empresarios como los diferentes organismos de la Administración implicados, no parecen dispuestos a asumir su responsabilidad.

Situación jurídico-administrativa

En el área de extracción minera de la Sierra de los Filabres existen dos situaciones muy diferentes desde el punto de vista jurídico-administrativo: la correspondiente al área de la Sierra de Macael y la que afecta al resto de las áreas de extracción.

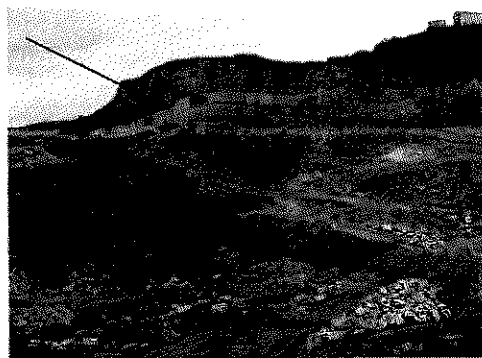
En la **Sierra de Macael**, el Ayuntamiento de Macael es el titular de los derechos de toda el área explotable de la Sierra. Existen cinco concesiones de explotación, divididas en 140 permisos, que subarrienda a los explotadores mediante la formalización de un contrato de explotación, beneficiándose a cambio del cobro de un canon por el volumen de material extraído de cada explotación. Dichos contratos se realizan por un periodo de cinco años prorrogables y son realizados con autorización previa de la Dirección General de Minas. Así pues, corresponde al Ayuntamiento la obligación de hacer cumplir a los arrendatarios la normativa que se deriva del R.D. 2994/1982 de 15 de Octubre, sobre restauración del espacio natural afectado por actividades mineras. Por otra parte, corresponde a la Administración de Minas la obligación de exigir al Ayuntamiento la presentación y materialización de dichos planes o, en su caso, una cantidad periódica destinada a la creación de un fondo destinado a tal efecto.



Fotografía 1.- Talud restaurado

La mayoría de las explotaciones se iniciaron antes del año 1982, por lo que en su momento, y de acuerdo con el Art. 9 del citado R.D. 2994/82, debieron presentar en el plazo máximo de un año un estudio de impacto ambiental ante la Dirección Provincial de Minas. En dicho estudio, partiendo del estado entonces actual de la explotación, debían considerarse las posibles alternativas en orden a la restauración de las áreas que aún no habían sido objeto de explotación. Este trámite nunca llegó a realizarse, por lo que dichas explotaciones nunca han contado con un Plan de Restauración General. En este momento se ha finalizado por parte del Ayuntamiento un primer documento sobre este planeamiento general que se está estudiando y tramitando administrativamente. En tanto en cuanto se termina este documento, los empresarios, el Ayuntamiento y el Centro Tecnológico Andalúz de la Piedra (CTAP) han emprendido una serie de acciones de restauración de antiguas áreas degradadas de uso común y una estrategia de intervención en ejes de especial impacto paisajístico (fotografía 1).

En el resto de áreas la situación jurídico-administrativa es completamente diferente. Se trata de autorizaciones de la sección A, donde titular y explotador son la misma persona. Son, en casi todos los casos, anteriores también a 1982 y tampoco se materializan los planes de restauración. No obstante, La Dirección Provincial de Minas ha comenzado a exigir avales bancarios para las de nueva apertura, con objeto de garantizar la ejecución del Plan de Restauración una vez concluida la actividad.



Fotografía 2.- Veta de mármol blanco.

La explotación

En toda la comarca el sistema de explotación es "a cielo abierto". El método general de trabajo es el de "banqueo y avance" (fotografía 2) y consta de las fases de *desmante o despizarre* (perforación y voladura), *arranque* (voladuras controladas, hilo diamantado o por sierra de brazo), *carga y tran-porte*. Existieron en la Sierra de Macael hasta 19 grandes áreas de vertido o escombreras, que se han reducido a 6 en la actualidad.

PROBLEMÁTICA MEDIOAMBIENTAL

Las explotaciones mineras tienden sistemáticamente a la destrucción del *solum* en todo el ámbito de la explotación. En meses se destruye lo que la naturaleza ha tardado miles de años en desarrollar. Es destacable el grave impacto ambiental de las canteras debido tanto a las molestias que ocasionan (ruido, polvo, voladuras), como a las drásticas transformaciones que producen en el territorio. A grandes rasgos, los problemas del sector industrial son: a) vertido de residuos y lodos procedentes de las industrias de transformación a los cauces públicos, b) fuerte degradación del medio ambiente urbano en los núcleos de población que albergan a las industrias. Por lo que a las explotaciones se refiere, se trataría de graves alteraciones geomorfológicas, inducción de procesos erosivos, fuerte impacto visual e importantes alteraciones en la red de drenaje; derivadas todas ellas de las dificultades técnicas que padece el propio sector (fotografía 3).



Fotografía 3.- Detalle de canteras

En la actualidad, los problemas más importantes que afectan a las explotaciones y que inciden en la problemática ambiental son:

- Las parcelas concedidas por el Ayuntamiento de Macael suelen ser de pequeña superficie, lo que ha dado lugar a un minifundismo tan enorme que toda la Sierra transmite el efecto de un gran caos.
- Las canteras son de pequeña entidad, con frentes cortos y superficies mínimas de plaza de cantera, lo que dificulta enormemente el movimiento de maquinaria y aumenta considerablemente el tiempo de ejecución de las operaciones de laboreo.
- A excepción de algunas grandes empresas, la mayoría son pequeños explotadores con escasez de recursos técnicos y materiales, lo que se traduce en una mala gestión del recurso.

- La incidencia en el costo de la extracción de las grandes masas de estéril que recubren el material aprovechable es enorme, agravándose al tener que parar la explotación para efectuar la salida del escombros, ya que los frentes de trabajo quedan sepultados al realizar la voladura.
- Al no realizar una investigación de las explotaciones previa al laboreo, puede ocurrir que después de realizado el desmonte y haber hecho una fuerte inversión, los materiales objeto de extracción no estén en condiciones de comercialización (fracturas, "pelo", color, etc.)
- Debido a la accidentada orografía de la zona de Macael y a la falta de planificación minera en la apertura de las explotaciones, se dan casos de imposibilidad de extracción del material por encontrarse con unos frentes verticales muy altos (hasta 60 m.), teniendo el material a la vista pero sin poder extraerlo (fotografía 3).
- El parque de maquinaria de las explotaciones es poco homogéneo y, en ocasiones, poco funcional. Se pueden encontrar máquinas totalmente obsoletas que ocasionan pérdidas de producción por la cantidad de horas averiadas, así como maquinaria de última generación que en la mayoría de los casos están sobredimensionadas con respecto al trabajo que realizan.
- Hasta hace muy poco tiempo, el vertido de estériles se ha venido realizando de forma indiscriminada, dándose casos de ocupación de zonas potencialmente productivas (fotografía 4). Actualmente, el Ayuntamiento de Macael ejerce un control y planificación de la actividad de vertido. Hay gran cantidad de escombreras que afectan a cursos de agua y las escombreras situadas en ladera presentan, en algunos casos, problemas geotécnicos y riesgo de deslizamientos. Todo ello provocará a la larga un efecto de ocupación de cauces o vías públicas.



Fotografía 4.- Aspecto caótico de las explotaciones

Efecto de las industrias de transformación.

- El modelo de implantación espontánea de las industrias ha originado que una gran parte de ellas se sitúen en los propios núcleos de población. Esto trae como consecuencia, fundamentalmente en Olula del Río y Macael, una fuerte degradación ambiental debida al ruido, al polvo y al intenso tráfico rodado de camiones en zonas residenciales.
- En las zonas de concentración industrial cabe señalar, además, el impacto visual producido como consecuencia de la acumulación de bloques y material de desecho, sin vallas o setos vegetales alrededor del recinto de las industrias.
- Otro problema importante, común a todas las zonas, es el peligro que ocasionan los numerosos accesos directos a la carretera C-323 sin unos mínimos requisitos de seguridad.
- En el caso particular de las trituradoras, el problema del polvo es realmente grave, no sólo por la degradación que produce en el paisaje, sino porque en condiciones climatológicas de viento llega a entorpecer la visibilidad de los vehículos.
- No obstante, sin duda alguna, el principal problema de tipo medioambiental es la utilización del cauce del río Almanzora y de las ramblas afluentes como lugar de vertido de los barros o lodos producidos por la industria.

Como resumen, los impactos de las canteras se pueden centrar en:

- a) *Contaminación atmosférica por polvos y gases.*
- b) *Contaminación acústica.*
- c) *Alteración o destrucción de cauces superficiales.*
- d) *Contaminación de aguas superficiales.*
- e) *Alteraciones en la dinámica de acuíferos.*
- f) *Contaminación de acuíferos.*
- g) *Destrucción de suelo fértil.*
- h) *Eliminación o destrucción de hábitats.*
- i) *Eliminación de la cubierta vegetal.*
- j) *Alteración de procesos ecológicos.*
- k) *Inducción de riesgos de deslizamiento, desprendimientos o colapsos.*
- l) *Aceleración de procesos erosivos y aumento de la carga de sedimentación aguas abajo.*
- m) *Impacto visual.*
- n) *Destrucción de patrimonio histórico-artístico.*
- o) *Intensidad de tráfico en carretera.*
- p) *Destrucción u ocupación de carreteras.*

PRESENTE Y FUTURO

El Centro Tecnológico Andaluz de la Piedra, como consorcio que coordina los esfuerzos de la Junta de Andalucía, del Ayuntamiento de Macael y de la patronal del sector, ha establecido unas líneas estratégicas en diferentes campos de actuación, con el reto de fortalecer y consolidar el sector del Mármol de Macael, como son:

1.- Medio ambiente:

- **Objetivos:** Puesta a punto de infraestructuras y técnicas medioambientales.
- **Actuaciones:** Tecnología para la revegetación de escombreras en la sierra de Macael.
Punto limpio, para la gestión de residuos peligrosos generados en la comarca.
Puesta a punto de infraestructuras y técnicas medioambientales.

2.- Desarrollo tecnológico:

- **Objetivos:** Innovación en procesos.
Innovación del conocimiento.
- **Actuaciones:** Colaboración con centros de investigación.
Implantación de un sistema integral de producción de las empresas de tratamiento de la piedra.
Entroncado con la línea de diseño y con la ingeniería de fabricación.
Construcción de maquinaria adaptada a la industria de la piedra.

3.- Diseño:

- **Objetivos:** Incorporación del diseño como estrategia al sector
Nuevos productos

- Actuaciones: Participación de diseñadores industriales y arquitectos en el diseño en piedra natural.

4.- Comercial y marketing:

- Objetivos: Desarrollo de la comercialización y orientación al mercado de las empresas andauzas.
Inserción laboral en las empresas de población de la comarca para aumentar la estabilidad del empleo.
- Actuaciones: Portal de comercio electrónico para la venta de artesanía de la piedra.
Página web para la gestión de ofertas y demandas de empleo, cursos de formación, servicios profesionales e información del mercado laboral.

5.- Formación:

- Objetivos: Incorporación de formación especialista en el sector de la piedra.
- Actuaciones: Escuela de comerciales de la piedra.
Cursos de inglés.
Cursos orientados al desarrollo y la consolidación de la PYME exportadora.
Cursos de manejo de máquinas CAD-CAM.

RESÚMENES DE LOS TRABAJOS PRESENTADOS

Adaptación del *cuerpo edáfico* de la Norma Técnica de la SECS para elaborar el Sistema de Información de Suelos (SIS) de la provincia de Castellón

M^a Victoria Flores Stols, Marta Goberna Estellés y Juan Sánchez Díaz

Departamento de Planificación Territorial, Centro de Investigaciones sobre Desertificación
(CIDE – CSIC, UVEG, GV)

Camí de la marjal, s/n 46470-Albal (Valencia)

m.victoria.flores@uv.es

En la Norma Técnica para la elaboración de la cartografía de suelos (NTCS), los miembros de la Comisión de la SECS creada al efecto consensúan, por primera vez a nivel estatal, tanto el procedimiento como los criterios de calidad que deben cumplir los mapas de suelos a escala 1/50.000. En el marco del convenio *Estudios sobre desertificación en la Comunidad Valenciana* que el CIDE mantiene con la Conselleria de Territori i Habitatge se está elaborando el SIS de Castellón. En éste se ha procurado adoptar como entidad básica de estudio el cuerpo edáfico, tal como se define en la NTCS. Se trata, sin embargo, de un concepto difícil de manejar ya que su definición exige un mínimo de cinco atributos, cada uno de los cuales presenta numerosas clases: grupo de suelos FAO (15 clases comunes en Castellón) con dos calificadores, material originario (9 clases), profundidad hasta un obstáculo a las raíces (5 clases), clase textural (6 clases) y contenido en gravas (2 clases). Descritos de este modo, los edafotaxa varían horizontalmente a escala métrica, lo que incrementa de manera exponencial tanto la intensidad del muestreo como la diversidad de unidades cartográficas. En este trabajo se plantea ensayar una modificación de la NTCS al definir el cuerpo edáfico únicamente mediante el grupo de suelos acompañado de un calificador, de manera que sea esta información la que determine la densidad de puntos de información de suelos. Además, se propone incorporar la fase de suelos, como una descripción adicional que incluya los atributos considerados por la NTCS con las siguientes modificaciones: 1) se elimina el espesor efectivo, propiedad que queda reflejada en la unidad taxonómica, 2) se incorpora el color del epipedión que, indirectamente, indica su contenido en materia orgánica. Este parámetro, de gran importancia en los estudios aplicados, no se utiliza en la nomenclatura FAO para discriminar entre ciertos tipos de suelos frecuentes en el entorno mediterráneo que constituyen verdaderos cajones de sastre (p.ej Regosoles calcáricos), 3) se incorpora la pedregosidad superficial, un reconocido agente de protección frente a la erosión. Se pretende así que el SIS sea una herramienta de la que fácilmente se extraigan los datos necesarios para detectar las áreas sensibles a la desertificación en Castellón.

Evolución edafocrystalquímica de la illita de la fracción arcilla de epipedones de Sierra Nevada

Juan Manuel Martín-García¹, Manuel Sánchez-Marañón², Víctor Aranda¹, Rocío Márquez²,
Julio Calero¹ y Rafael Delgado²

¹ Departamento de Geología, Facultad de Ciencias Experimentales, Universidad de Jaén,
Campus Las Lagunillas s/n, 23071 Jaén, email: jmmartin@ujaen.es

² Departamento de Edafología y Química Agrícola, Universidad de Granada, Campus Cartuja,
18071 Granada

Las illitas son minerales muy abundantes en la fracción arcilla de los suelos de las partes internas de Sierra Nevada y proceden esencialmente de herencia de las rocas metamórficas (principalmente micasquistos y cuarcitas micáceas) del núcleo cristalino del macizo. El índice de Kübler (KI), utilizado como índice de cristalinidad de la illita, es un importante criterio para la separación diagénesis-anchimetamorfismo ($0,42 \Delta^{\circ}2\theta$ CuK α) y anchi-epimetamorfismo ($0,25 \Delta^{\circ}2\theta$ CuK α). Se ha estudiado la arcilla de 18 horizontes Ah de suelos de Sierra Nevada entre las cotas 1410 y 2957 m.

KI en las illitas estudiadas varía entre 0.32 y $0,58^{\circ}2\theta$, de lo que se deduce: 1) todas las illitas de los epipedones están alteradas pues tienen un KI mayor al esperable para las rocas madres de los suelos ($KI < 0,25^{\circ}2\theta$); 2) illitas de 14 epipedones tienen valores equiparables a los de sedimentos de la anchizona (si se erosionasen y sedimentasen darían valores de anchizona); 3) sólo 4 epipedones presentan illitas con KI equiparables a las de la diagénesis. La evolución desde las rocas de las micas de los epipedones de los suelos de Sierra Nevada, que conduce al descenso de la cristalinidad, se acompaña de modificaciones en la fórmula estructural de la lámina como hemos demostrado en estudios previos (Martín-García et al., 1997, 1998).

Se ha apreciado una correlación significativa (***) entre el KI ($^{\circ}2\theta$) y la cota (m) a la que se encuentra el epipedón ($KI = -4 \times 10^{-8}(\text{cota})^2 + 6 \times 10^{-5}(\text{cota}) + 0,5203$; $n = 18$; $r = 0,7461$) poniendo en evidencia que a mayor altura menor es KI. Según esta estimación, las illitas aportadas por erosión a las cuencas sedimentarias tendrán KI diferentes según la cota del suelo del que proceden: 1) entre las cotas 0 y 2273 m las illitas presentan KI equiparables a las de diagénesis; 2) entre 2273 y 3456 m tendrían KI equiparables a la anchizona; y por encima de 3456 m de cota, las illitas tienen KI equiparables a la epizona, y muy similares a las de la roca madre. Esta relación entre la evolución edafocrystalquímica y la cota no había sido demostrada hasta la fecha.

El cuarzo de la fracción arena fina ligera de un Typic Calcixerolls de Sierra Elvira (Granada)

Rocío Márquez Crespo¹, Juan Manuel Martín García² y Rafael Delgado Calvo-Flores¹

¹Departamento de Edafología y Química Agrícola, Universidad de Granada
Campus Universitario de Cartuja s/n, 18071-Granada

²Departamento de Geología, Universidad de Jaén
Campus Universitario Las Lagunillas, 23071-Jaén
semfarma@ugr.es

El cuarzo (SiO_2) es uno de los minerales más abundantes de la corteza terrestre, siendo el politipo α (de baja temperatura) el más común en los medios de alteración. Además, es un importante constituyente de la mayoría de los suelos, concentrándose en las fracciones arena y limo. En medios de alteración se ha calificado como un mineral muy estable químicamente, sobre todo en suelos mediterráneos. Sin embargo, distintos estudios, algunos de nuestro Grupo de Investigación, han puesto de manifiesto que procesos de alteración, disolución, transporte y deposición, incluyendo recrecimientos, pueden dejar su impronta en la superficie de estos granos minerales.

Gracias al estudio morfosκόpicó y microanalítico del cuarzo mediante la aplicación de la microscopía electrónica de barrido (SEM) y el microanálisis de rayos X (EDR), respectivamente, se ha podido vislumbrar la génesis de este mineral en la fracción arena fina ligera (obtenida por flotación en bromoformo) de un Typic Calcixerolls de la provincia de Granada. Se han diferenciado 13 morfotipos y 6 submorfotipos de granos de cuarzo en cinco de los siete horizontes que componen este perfil. El morfotipo más frecuente (27%) está representado por granos policristalinos de agregados framboidales de cristales, originados, probablemente, por procesos de neoformación a partir de geles, en el medio sedimentario o en el suelo. Le siguen, con un 23%, granos policristalinos de drusas de cristales con madurez sedimentológica y con un 22% granos mono o policristalinos originados por la fragmentación física de granos de mayor tamaño. El resto de las tipologías diferenciadas aparecen en proporciones menores al 10%. La variabilidad de morfotipos de granos de cuarzo reconocida se corresponde igualmente con una variabilidad en los valores de la relación Si/O calculados, lo que se asocia, en primer lugar, a la existencia de diferentes materiales de partida para el desarrollo de este perfil (materiales margosos de Sierra Elvira y aportes coluviales de gravas carbonatadas procedentes de la ladera de la propia sierra). Además, el valor medio de esta relación (0,37) es inferior al valor ideal (0,5), lo que pone de manifiesto la actuación de procesos de alteración y/o neoformación.

Evaluación medioambiental de los contenidos en Uranio, Cesio y Estroncio de diversos suelos de Castilla La Mancha

Paz Conde Bueno (1), Juan Antonio Martín Rubí (1) y Raimundo Jiménez Ballesta (2)

(1) Área de Laboratorios. Unidad de Geología y Geofísica. Instituto Geológico y Minero de España. (2) Departamento de Química Agrícola, Geología y Geoquímica. Universidad Autónoma de Madrid.

(1) C/ La Calera 1. 28760 Tres Cantos. Madrid.

(2) Campus de Cantoblanco. 28049 Madrid.

p.conde@igme.es, ja.martin@igme.es, raimundo.jimenez@uam.es

Los suelos, en función de su naturaleza, pueden actuar como sumideros de la contaminación, incluida la de elementos radiactivos. De tal modo que la evolución de la contaminación varía en función de toda una serie de propiedades, especialmente las que están ligadas a la retención o a la movilidad de los contaminantes.

Cs y Sr no son nutrientes habituales de los vegetales, pero pueden presentarse en el suelo como consecuencia de eventos nucleares, de tal forma que en ocasiones pueden ser absorbidos por las plantas. El Cs es un elemento natural que se encuentra en las rocas en un contenido medio de 3 $\mu\text{g/gr}$, mientras que en suelos su contenido medio es de 4 $\mu\text{g/gr}$. El Sr se presenta en unos contenidos medios de 370 en rocas y 240 $\mu\text{g/gr}$ en suelos. El U aparece en rocas con valores medios de 2,2 y en suelos de 2,7 $\mu\text{g/gr}$. (Según H.T. Schacklette and J.G. Boerngen, y H.J.M. Bowen, citado por G. Sposito, *The Chemistry of Soils*, 1989).

Analizados 10 perfiles de suelos de Castilla La Mancha, se encuentran concentraciones de Cs que varían entre 1,7 y 18,3 $\mu\text{g/gr}$. Las variaciones de U oscilan entre 0,7 y 18,3 $\mu\text{g/gr}$. Finalmente el Sr oscila en un amplio rango entre 27,7 y 3384 $\mu\text{g/gr}$. De dónde se desprende que hay valores muy superiores a las medias mundiales antes citadas.

Con independencia de que estos valores se refieren a contenidos totales, se evalúa el alcance de riesgo potencial de contaminación por estos elementos. Para ello se relacionan con una serie de propiedades de los suelos que definen su vulnerabilidad, tales como pH, CE, contenido en carbonatos, textura, y otras mas, entre los que destaca la mineralogía de arcillas.

La evaluación de la vulnerabilidad de suelos a la degradación por pastoreo como herramienta de ordenación ganadera

Rafael Blanco Sepúlveda
Departamento de Geografía. Universidad de Málaga.
Campus de Teatinos, 2907. Málaga. E-mail: rblanco@uma.es

La evaluación de suelos para uso ganadero ha empleado, tradicionalmente, un sistema basado en la determinación de la capacidad de pastoreo del territorio a partir de la estimación de la capacidad sustentadora de la vegetación, los requerimientos energéticos de los animales, entre otros parámetros. Todos ellos requieren un específico y exhaustivo trabajo de campo y laboratorio, lo que dificulta la puesta en práctica de proyectos de planificación y ordenación de espacios con dedicación ganadera, ya que generalmente no se dispone en todos los casos de las infraestructuras ni de los recursos financieros necesarios.

Por esta causa se ha diseñado un sistema de evaluación de suelos para uso ganadero que se basa en parámetros de fácil determinación y que cumple con los mismos objetivos de planificación pecuaria. El sistema de evaluación se basa en la estimación de la «capacidad de carga ganadera del suelo», entendiéndose por este concepto, la capacidad del suelo para sostener el máximo número de animales sin riesgo de degradación de sus propiedades físicas.

Se ha utilizado como zona experimental, una explotación ganadera caprina de los Montes de Málaga (Casabermeja, Málaga). Las propiedades físicas que se han utilizado para medir los efectos de compactación sobre el suelo son las que habitualmente se emplean en los estudios que analizan los impactos del pastoreo sobre el suelo: densidad aparente; porosidad, retención de agua en el suelo a la capacidad de campo, capacidad de infiltración y estabilidad estructural.

A partir de los resultados obtenidos se ha diseñado un sistema de evaluación de la vulnerabilidad de suelos a la degradación que permite planificar el uso ganadero sostenible del territorio a partir de tres factores de diagnóstico de fácil determinación: carbonato cálcico del suelo, exposición y cobertura herbácea. El sistema de evaluación diseñado no se debe considerar sustitutivo de los sistemas de evaluación tradicionales sino más bien complementario, ya que la ordenación ganadera se debe basar en el máximo aprovechamiento de los recursos vegetales y en la conservación del medio ambiente, objetivos que se alcanzan a partir de la aplicación conjunta de ambas metodologías.

Estudio de los suelos del Parque Natural de la Bahía de Cádiz. Utilización del Parque como laboratorio natural

**María Ángeles Romero Aguilar, María del Carmen Ramírez Jiménez,
Ángel Sánchez Bellón, Javier Martínez López y José P. Moral Cardona.**

**Laboratorio de Edafología del Departamento de Cristalografía y Mineralogía, Estratigrafía,
Geodinámica, y Petrología y Geoquímica, Universidad de Cádiz
Facultad de Ciencias, Campus Universitario de Puerto Real s/n, 11510-Puerto Real, Cádiz
angel.sanchez@uca.es**

En este trabajo se describen distintos tipos de suelos situados dentro del Parque Natural de la Bahía de Cádiz. En concreto se han estudiado los suelos cercanos a las instalaciones del Campus Universitario de Puerto Real, donde se encuentra la Facultad de Ciencias del Mar y Ambientales. Como parte de la docencia de la asignatura de Edafología, se ha utilizado el Parque como un laboratorio natural, un entorno privilegiado donde poder realizar a pie prácticas de campo. Los suelos estudiados muestran en un entorno reducido diversidad de tipologías en las que se observan ejemplos claros de distintos procesos edáficos consecuencia de la influencia ejercida por distintos factores formadores.

Entre los depósitos mejor representados en el parque se encuentran los sedimentos de edad plio-cuaternaria correspondientes a arenas de antiguos cordones de dunas móviles; limos y arcillas de estuarios y desembocaduras de caños mareales; y fangos de marismas. A partir de estos materiales se han formado suelos poco evolucionados con horizontes poco diferenciados: arenosoles, regosoles y vertisoles.

En ocasiones, la cercanía de estos suelos a la lámina de agua da lugar al desarrollo de procesos ligados a hidromorfía temporal o permanente, apareciendo colores y moteados relacionados con la falta de aireación y consiguiente reducción parcial o total. Estos rasgos de gleyzación y pseudogleyzación se desarrollan tanto sobre suelos de textura arenosa como arcillosa.

La procedencia del material original, depositado en ambientes marinos, así como las variaciones de la salinidad del agua (lagunas temporales de carácter pluvial, salinas y esteros salinos y lagunas hipersalinas) provocan la entrada de sales sobre todo sódicas y el desarrollo de procesos de salinización en mayor o menor grado, dando lugar a la aparición bien de solonchaks o bien de gleysoles.

Analisis multivariante de las propiedades de los suelos del Desierto de Tabernas (Almería)

Raul Ortega Pérez, Isabel Miralles Mellado¹, Miguel Soriano Rodríguez y
Manuel Sánchez Marañón¹

Dpto. de Edafología y Química Agrícola, Universidad de Almería. Ctra. de Sacramento S/N, La
Cañada de San Urbano. 04120-Almería.

¹Dpto. de Edafología y Química Agrícola, Universidad de Granada. Facultad de Ciencias.
Campus de Fuentenueva. C/ Severo Ochoa S/N, 18007-Granada.

El desierto de Tabernas, se encuentra en el límite meridional de Europa, próximo a los grandes desiertos africanos y constituye un modelo de estudio de las propiedades de los suelos áridos. El objetivo del presente trabajo es establecer la influencia de diferentes propiedades edáficas sobre la variabilidad de los suelos de Tabernas. Para estudiar los patrones de variación y las relaciones entre variables se empleó análisis factorial.

Tabla 1. Matriz Factorial con rotación Varimax (N=76)

	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4	Las variables se agruparon en cuatro factores principales que explican el 80,67% de la varianza de las muestras (Tabla 1). El primer factor se ha denominado "Factor textural". La arena es la variable principal de este factor (peso=0.909) relacionada de forma inversa con el resto de las variables. El segundo factor es el "Factor salinidad", cuya variable principal es la conductividad
ARENA	-0,909	-	-	-	
ARCILLA	0,794	-	0,256	-	
pF(15)	0,906	-	-	-	
pF(0.33)	0,902	-	-	-	
CaCO ₃ eq.	0,584	0,257	-	0,555	
pH (KCl)	-	0,785	-	0,435	
Cond.Elec.	-	0,909	-	-	
a*	-	-0,258	0,859	-	
b*	0,250	-	0,745	0,489	
L*	0,404	-	-	0,806	
Fe _(cd)	-	0,445	0,640	-0,347	
C.O.	0,406	-	-	-0,695	
Var. Expl.	37,13	18,85	14,63	10,07	
Var. Ac.	37,13	55,98	70,61	80,68	

eléctrica, relacionada positivamente con pH (KCl), Fe_(cd) y CaCO₃ eq. e inversamente con a*. Los dos últimos factores corresponden a parámetros de color y explican conjuntamente el 24,7% de la varianza. El factor 3 se ha denominado "cromático" y comprende los parámetros CIELAB a* y b*, relacionados positivamente con el hierro libre y en menor medida con la arcilla. El factor 4, es el "Factor luminancia", cuya variable principal es L* relacionada positivamente con CaCO₃eq, pH (KCl) y b*, y negativamente con C.O. y Fe_(cd). De acuerdo con estos resultados, textura y sales son los principales factores influyentes en la variabilidad de los suelos del desierto de Tabernas, a las que hay que añadir el color por su relación con la composición del suelo.

Agradecimientos: Trabajo financiado con cargo al Proyecto CGL2004-02282/BTE, MEC.

Los suelos de zonas áridas como sumidero de carbono: datos preliminares para la isla de Fuerteventura (I. Canarias)

J.L. Mora, J.M. Torres, C.M. Armas, J.A. Guerra, C.D. Arbelo y A. Rodríguez Rodríguez
Departamento de Edafología y Geología. Facultad de Biología, Universidad de La Laguna.
Avda. Astrofísico Francisco Sánchez, s/n. 38204 La Laguna, Tenerife. E-mail: antororo@ull.es

El estudio de la fijación del CO₂ atmosférico en los diferentes sumideros del planeta (litosfera, biomasa, océanos, suelos) ha adquirido una importancia cada vez mayor, principalmente a partir de la declaración del Protocolo de Kyoto. En zonas áridas y desertificadas los suelos presentan en general un bajo contenido de materia orgánica, de modo que su potencial para secuestrar carbono es aún muy alto. En Canarias un proceso severo de desertificación es el causante un importante deterioro de las propiedades físico-químicas y biológicas de los suelos, con importantes pérdidas de materia orgánica. Este déficit de materia orgánica hace pensar que muchos de estos suelos podrían estar funcionando como emisores netos de CO₂ en lugar de sumideros. Con el incremento en el contenido de materia orgánica a través del secuestro de carbono sin duda aumentará su productividad biológica además de contribuir a frenar la desertificación y al mismo tiempo disminuir las emisiones de CO₂ a la atmósfera.

En este trabajo se presentan algunos datos preliminares acerca de los stocks de carbono de los suelos de la isla de Fuerteventura y su distribución en el territorio insular. Para ello se ha estudiado un total de 50 perfiles distribuidos por todo el territorio de Fuerteventura representativos de la diversidad edáfica de la isla. En cada perfil se ha analizado el contenido de carbono orgánico, carbono inorgánico presente en formas solubles en la solución del suelo (CO₃²⁻ y HCO₃⁻) y carbono precipitado en forma de carbonato cálcico (CaCO₃), que se presentan expresados por unidad de superficie. A efectos comparativos se ha evaluado el carbono de la biomasa aérea de la vegetación en el entorno de cada perfil, estimada mediante ecuaciones de regresión preexistentes a partir de la estructura y recubrimiento de las especies vegetales.

De acuerdo a los resultados obtenidos, el secuestro de carbono en los suelos de Fuerteventura se produce mayoritariamente en formas inorgánicas, que alcanzan por sí solas un total próximo a las 500.000 toneladas en el conjunto de la isla. El secuestro en formas orgánicas, aunque de menor magnitud que el inorgánico, es muy superior al efectuado por la biomasa vegetal. Los resultados resaltan el papel de los suelos como reservorio de carbono en un entorno natural de productividad biológica limitada.

En virtud de los resultados obtenidos, proponemos una aproximación más detallada al estudio del secuestro de carbono en las zonas más áridas de las islas, entre cuyos objetivos se cuenta:

- Conocimiento en detalle de la distribución espacial, mediante muestreos de mayor intensidad, de los distintos stocks de carbono en los suelos de la isla.
- Estudio detallado en parcelas experimentales de las tasas de emisión de CO₂ del suelo y los aportes de carbono al mismo, a fin de establecer los flujos de CO₂ e identificar los suelos emisores o captadores netos del mismo.

Estudio de la efectividad para el secuestro de carbono en el suelo de medidas relacionadas con la lucha contra la desertificación, tales como actuaciones de revegetación y de tratamiento silvícola, aplicación de enmiendas orgánicas al suelo para su incorporación en forma estable al mismo, recuperación de sistemas agrícolas tradicionales, etcétera.

Evolución de las propiedades del suelo como consecuencia del cambio de modelo de cultivo. Incidencia del riego en el medio edáfico

Antonio Sánchez Navarro, Pura Marín Sanleandro, M^a José Delgado Iniesta, Ana García Navarro.

Departamento de Química Agrícola, Geología y Edafología. Complejo Universitario de Espinardo 30100. Facultad de Química. Universidad de Murcia (Murcia).
pumasas@um.es

El aumento de la superficie regada en toda la cuenca mediterránea ha ido acompañado de problemas relacionados con la salinización y pérdida de la fertilidad del suelo. La causa principal de estos fenómenos es el uso indiscriminado de aguas de mala calidad agronómica, junto con la incorporación de abonos.

La zona de estudio se encuentra situada al noreste de la provincia de Granada y en ella se ha experimentado un cambio sustancial en la última década en cuanto al modelo de cultivo y dedicación de las tierras. En efecto, un porcentaje importante de los suelos de cultivo han pasado de una agricultura extensiva de secano a otra de regadío. Paralelamente, los cultivos tradicionales tales como la cebada, avena, trigo y en general herbáceos de secano han dado paso a cultivos hortícolas (brócoli, tomate, apio, patata, escalora, melón, etc.), cuyo manejo supone pasar de un agrosistema poco agresivo con el medio ambiente a otro donde hay que extremar las precauciones para impedir la aparición de fenómenos tales como la degradación del suelo, contaminación y sobreexplotación de acuíferos, etc.

Uno de los objetivos principales de este estudio es evaluar la degradación del suelo en un periodo de cinco años, como consecuencia de la sustitución de los cultivos tradicionales de secano por otros en régimen de regadío y labores de fertilización.

Para poner de manifiesto la incidencia que ha tenido el cambio de cultivo en las propiedades, se han muestreado dos perfiles que representan las dos situaciones de uso posibles. El perfil 1 se corresponde con un suelo dedicado al cultivo de cereales de secano desde tiempos inmemoriales, mientras que el perfil 2, situado a menos de 100 m del anterior, ha tenido un uso idéntico al primero hasta marzo de 1999, habiéndose dedicado a partir de esta fecha al cultivo de diversas especies hortícolas al aire libre.

Lo más significativo que se ha observado al comparar el modelo de cultivo es el aumento de la conductividad eléctrica en la mayoría de los horizontes analizados, además de producirse en los horizontes Ap un aumento de la materia orgánica, sin embargo se observa una degradación moderada de su estructura. Esto es debido a que aún no ha tenido lugar la incorporación en su totalidad de la materia orgánica adicionada a los horizontes superficiales de estos suelos.

Comparación de las formas de C orgánico de suelos forestales (Sierra de Gata, provincia de Salamanca)

Moyano, A.¹; Gallardo, J.F.²; Charro, E.³

¹Dpto. Producción Vegetal y Recursos Forestales, Universidad de Valladolid. Campus Universitario, 42004. Soria. gardini@pvs.uva.es

²IRNA/CSIC. Cordel de Merinas s/n. 37004. Salamanca. jgallard@usal.es

³Dpto. Ciencias Agroforestales, Universidad de Valladolid. Campus Universitario, Avda. de Madrid 44. 34004. Palencia. echarro@agro.uva.es

La materia orgánica del suelo (MOS) posee características diferentes dependiendo de la naturaleza de la broza que la origina y del proceso de degradación y humificación que experimentan. Durante la transformación que experimenta la MOS (humificación) se forman compuestos biorresistentes, no extraíbles y ligados con fuerza desigual a la fracción mineral edáfica. El presente trabajo pretende analizar, en forma comparativa, las diferentes fracciones que constituyen la MOS procedentes de dos sistemas forestales e inferir los factores ecológicos predominantes que han actuado sobre los procesos de humificación. Se eligieron los horizontes superficiales de dos suelos forestales desarrollados sobre granito alterado. Uno de ellos es una repoblación de pinos (*Pinus sylvestris* Ait.). Mientras que el otro es un rebollar climácico (*Quercus pyrenaica* Willd.) adhesado. Ambos suelos fueron clasificados como Umbrisoles háplicos. Se compararon los resultados obtenidos tras el análisis de las diferentes fracciones húmicas de la MOS, lo cual permitió inferir que la influencia de la vegetación es escasa sobre la calidad de las sustancias húmicas edáficas.

NOTAS

