

SCIENTIFIC EXCURSION Nº 1

DEGRADACIÓN Y REHABILITACIÓN DE SUELOS EN LAS CUENCAS NEOGENO CUATERNARIAS DE MULA Y FORTUNA (REGION DE MURCIA)

Asunción Romero Díaz¹, Carlos García Izquierdo² & Juan Albaladejo Montoro²

¹ *Departamento de Geografía Física. Universidad de Murcia. Campus de La Merced, Santo Cristo 1, 30.001 Murcia, Spain.*

² *CEBAS-CSIC. Campus Universitario de Espinardo, 30.100 Murcia, Spain.*

I. ITINERARIO

9:00 h: Salida de Cartagena

9:45 h: Visita 1. Planta de tratamiento de residuos orgánicos.

11:00 h: Visita 2. Cuenca de Mula, “Los Tollos”. Geología, Geomorfología y Erosión de la Cuenca de Mula.

12.00 h: Visita 3. Cuenca de Mula, “Casa de Los Virijos”. Degradación de tierras por “piping” en campos abandonados.

14:00 h: Comida (Baños de Fortuna)

16:00 h: Visita 4: Cuenca de Fortuna. Paisajes degradados y experiencias realizadas en bioremediación de suelos.

17:30 h: Visita 5: Santomera. Finca experimental del CEBAS-CSIC.

19:30 h: Llegada a Cartagena

II. DESCRIPCION DE LAS VISITAS

VISITA 1: PLANTA DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS ORGÁNICOS.

Dentro de la excursión, se ha programado una visita a la planta de compostaje de lodos, propiedad de Ingeniería Urbana-CESPA. En ella se tratan diariamente 200 tn de fracción orgánica procedente de basura urbana, y unas 100 tn de lodos procedentes de plantas de tratamiento de aguas urbanas. La mezcla de ambos materiales da como resultado un compuesto con una adecuada porosidad para ser compostado. El sistema de compostaje consiste en túneles-reactores, de una gran capacidad, con aireación constante y movimiento de la masa mediante tornillo mecánico. Este sistema, totalmente automatizado y computerizado, garantiza un buen proceso (se controla la humedad y la aireación de forma automática), y una adecuada calidad del producto resultante 20 días después del inicio.

VISITA 2: “LOS TOLLOS”. GEOLOGÍA, GEOMORFOLOGÍA Y EROSIÓN DE LA CUENCA DE MULA.

2.1. Encuadre geológico de la cuencas de Mula y Fortuna.

Las cuencas de Mula y Fortuna, se inscriben geológicamente en el vasto conjunto morfoestructural que configuran las Cordilleras Béticas que, con una dirección general OSO - ENE se disponen por todo el sur y sureste peninsular. Las Cordilleras Béticas son un relieve

alpino que presentan como características morfoestructurales mayores las siguientes: la estructura en mantos, la neta diferenciación entre zonas internas y externas, el diferente grado de metamorfismo que ha afectado a cada una de las unidades, la densa red de fracturas que las afectan, y unos complejos procesos de modelado diferenciados en el tiempo y en el espacio.

Las Cordilleras Béticas fueron divididas por Falot (1948) en tres grandes unidades: Prebética, Subbética y Bética en sentido estricto (figura 1). Las dos primeras constituyen la zona externa y la unidad Bética (anteriormente llamada Penibética), forma la zona interna. Junto a estas tres grandes unidades, las Béticas además están compuestas por otros elementos estructurales: la unidad o complejo del Campo de Gibraltar, la depresión del Guadalquivir; y las depresiones interiores.

La zona externa, se caracteriza porque tan solo los materiales de la cobertera postpaleozoica fueron afectados por la orogenia alpina, dando como resultado estructuras plegadas de gran complejidad. Por el contrario, la zona interna, se caracteriza porque además de los materiales de la cobertera sedimentaria, el zócalo paleozoico también fue afectado por las estructuras alpinas, sufriendo procesos de metamorfismo de edad postpaleozoica.

Las tres grandes unidades de las Cordilleras Béticas se encuentran representadas en la Región de Murcia. El Prebético, que es la unidad más externa se localiza al norte, el Bético en s.s., ocupa todo el sector meridional en contacto con el Mediterráneo, y el Subbético se localiza entre las dos unidades anteriores, es decir, en el centro de la provincia. Además, entre las tres unidades, se hallan un conjunto de depresiones, accidentadas por líneas de fractura, desde que se individualizaron en el Terciario Superior, que se han comportado como cuencas de sedimentación y se encuentran rellenas por margas, arcillas, yesos, areniscas y conglomerados. Dos de los ejemplos más representativos de estas cuencas neógeno-cuaternarias, por su interés geomorfológico, son las **Cuencas de Mula y Fortuna**. La escasa resistencia mecánica que, en conjunto, ofrecen estos materiales, han favorecido los procesos de erosión y originado extensos paisajes abarrancados o de "badlands" (López Bermúdez & Romero Díaz, 1989).

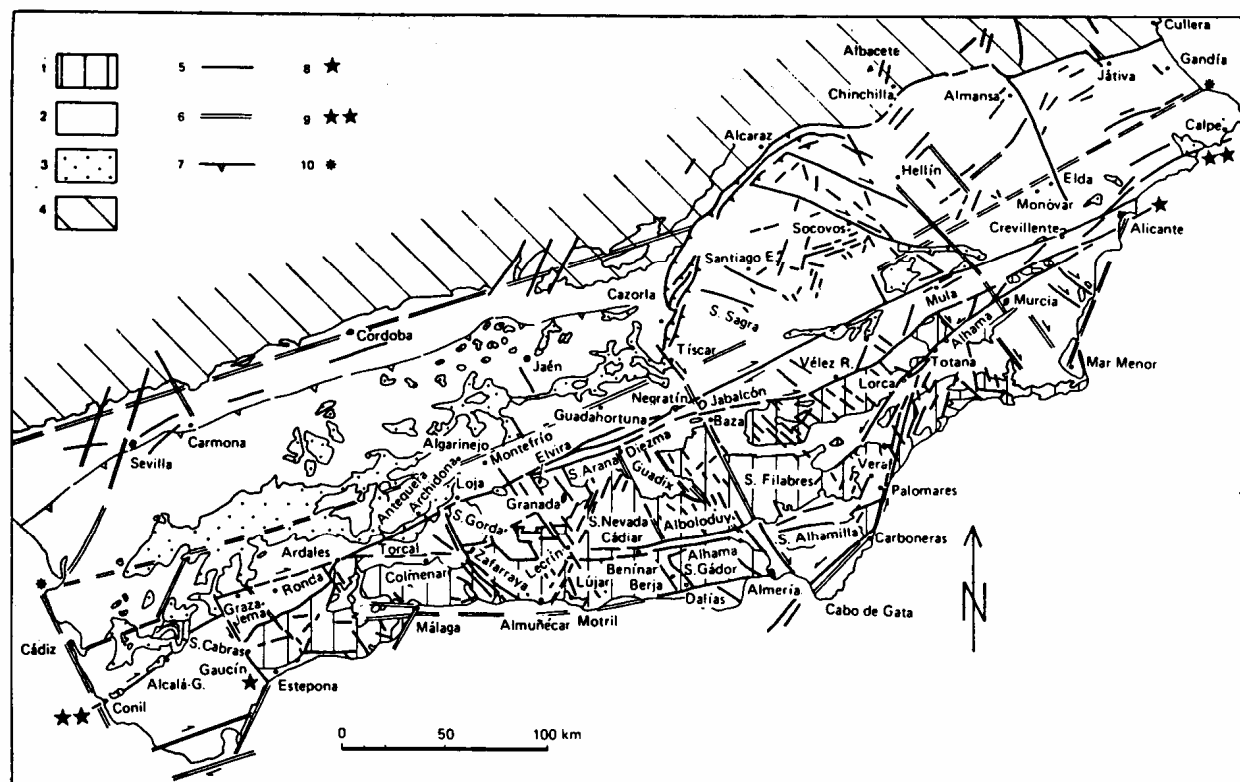


Figura 1: Esquema tectónico y de las principales unidades geológicas de las Cordilleras Béticas (Sanz de Galdeano, 1983). 1: Zonas internas; 2: Zonas externas y materiales de las depresiones; 3: Triás germano-andaluz; 4: Materiales de la Meseta y Cordillera Ibérica; 5: Fallas; 6: Posibles fallas; 7: Límite de los sedimentos gravitatorios de la Depresión del Guadalquivir; 8: Extremo de la línea de contacto entre las zonas internas y externas; 9: Extremo del accidente Cádiz-Alicante; 10: Posible accidente al norte del de Cádiz-Alicante.

2.2. Características generales de la Cuenca de Mula. Génesis de su modelado actual.

La cuenca de Mula se sitúa en el centro de la Región de Murcia, tiene una superficie de 647 km² y una altitud media en torno a los 500 m.

La Cuenca se encuentra limitada al Norte y al Sur por dos importantes fallas de desgarre, las fallas Nord-Bética y la de Lorca-Alhama, respectivamente (figura 2). Su límite oriental está constituido por otra falla de desgarre que controla el curso del río Segura, mientras que su límite occidental lo constituyen distintas elevaciones montañosas.

La presencia de la Tectónica en la Cuenca de Mula ha sido la responsable, no solo de su configuración como cuenca, sino también de sus características morfológicas actuales. Los efectos neotectónicos en la Cuenca de Mula quedan patentes en numerosos aspectos: afloramientos de aguas termales, afloramiento de rocas ígneas (dique de fortunitas), presencia de fracturas en depósitos recientes, desnivelación de relieves tabulares, y existencia de numerosos epicentros sísmicos. Esta comarca tiene una peligrosidad sísmica de 7 en una escala de 9, siendo de citar el terremoto de 2-2-1999 con epicentro en Mula, que tuvo una intensidad máxima de VI en la escala macrosísmica europea).

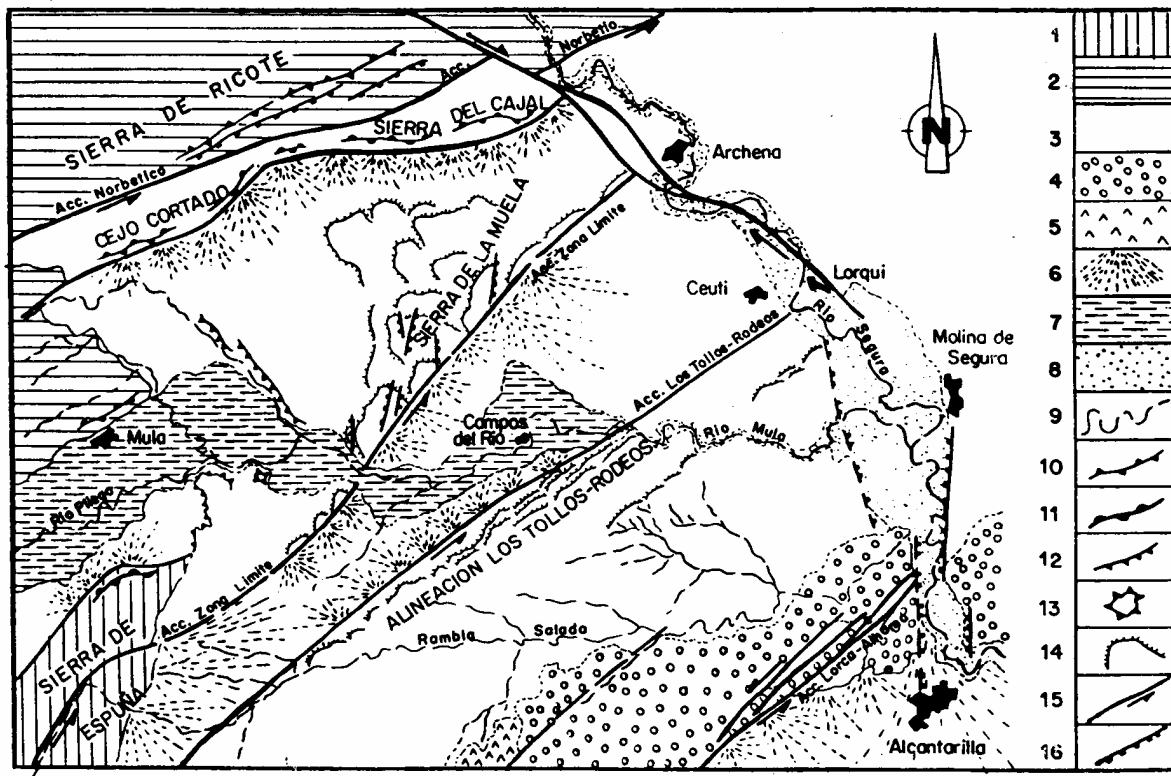


Figura 2: Esquema tectónico y morfosedimentario de la Cuenca de Mula (Mather et al., 1992). Leyenda: 1: Sustrato Bético; 2: Sustrato Subbético; 3: Materiales marinos Tortonenses y Messinienses; 4: Materiales fluvio-marinos Plio-Messinienses; 5: Volcanismo Neógeno de Barqueros; 6: Abanicos aluviales y glaciares del Pleistoceno Inferior Medio; 7: Depósitos fluvio-palustres del Pleistoceno Superior; 8: Depósitos fluviales del Pleistoceno Superior-Holoceno; 9: Ríos; 10: Crestas; 11: Relieves marginales; 12: Escarpes; 13: Cerro estructural; 14: Relieves en cuesta; 15: Falla en dirección; 16: Falla normal.

El relleno sedimentario neógeno está constituido fundamentalmente por una serie margo-arenosa con intercalaciones calcáreas y conglomeráticas de carácter marino, atribuibles al Tortonense y Messiniense. La sedimentación cuaternaria está vinculada a la instalación y encajamiento del río Mula y también al desarrollo de sistemas de abanicos aluviales y glaciares, constituidos a partir de los nuevos relieves generados durante la emersión e inmersión de la Cuenca neógena durante el Plio-Cuaternario, el Frente de Cejo Cortado - Sierra del Cajal, la Sierra de la Muela y la alineación Los Tollos-Rodeos (Romero Díaz et al., 1992a).

Hidrologicamente, la cuenca, está drenada por el río Mula y su principal afluente el río Pliego, siendo ambos a su vez, afluentes del río Segura. Los ríos-rambla Mula y Pliego tienen un régimen torrencial, con acusadísimo estiajes y espectaculares avenidas. Sirvan como ejemplos los $400 \text{ m}^3/\text{s}$ que registró el 7-11-1987 el río Mula en la estación de aforos de Alguazas, junto a su desembocadura en el Segura, o las últimas inundaciones registradas el 16-10-2003 en los municipios de Albudeide y Campos del Río, por el desbordamiento del río Mula, como consecuencia de los 130 l/m^2 caídos en 3 horas.

Las condiciones climáticas actuales de la Cuenca de Mula, pueden catalogarse de áridas o semiáridas atendiendo a las distintas clasificaciones. Sus rasgos más destacados son: escasas e

irregulares precipitaciones (300 mm de media anual), altas temperaturas (17-18 °C de media anual, pero con más de 100 días al año en los que se superan los 30 °C), fuerte evapotranspiración (900 mm anuales) y por tanto, elevado déficit hídrico (600 mm de media anual). El régimen de las precipitaciones, característico de los climas mediterráneos, muestra dos máximos equinocciales, siendo abril y octubre los meses más lluviosos, con la particularidad de presentar caracteres torrenciales. Las precipitaciones se concentran en corto espacio de tiempo, lo que repercute directamente en su alto poder erosivo.

Desde el punto de vista topográfico, la Cuenca de Mula, constituye una zona deprimida rodeada de importantes elevaciones por todos sus flancos a excepción del oriental. Al norte se encuentra la sierra de Ricote (1124 m), al sur las sierras de Espuña (1579 m) y Cambrón (1525 m), y al oeste las sierras de Labia (1234 m) y Burete (1184 m); el sector oriental, por el contrario, se abre al valle del Segura en donde desemboca el curso principal que surca el territorio.

El dispositivo estructural y la litología permite diferenciar varios conjuntos de geoformas, en función de las características topográficas y geomorfológicas :

1. Relieves de la orla montañosa, situados por encima de los 650 m de altitud y con fuertes pendientes, entre 25° y 35°. Destacan las sierras de Ricote, al Norte; Espuña al Suroeste; y Cambrón, Lavia y Burete al Oeste.

2. Relieves estructurales, con morfología tabular y monoclinal, por encima de los 300 m sobre el nivel del mar y pendientes entre 15° y 35°. Estos relieves se han labrado en las series de areniscas y calizas que quedan en resalte sobre las margas, a las que culminan y sobre las que se desarrollan laderas regladas.

3. Formas de piedemonte, abanicos aluviales y glaciares, modeladas entre 150 y 500 m de altitud, y con pendientes entre 5° y 15°. En la actualidad, estas formas de modelado están muy disectadas por la erosión. Es posible observar varios niveles de glaciares, estando el superior encostrado.

4. Formas de erosión hídrica de fondo de cuenca y áreas adyacentes, inscritas en superficies topográficas suaves, entre 1° y 10°, pero con pendientes individuales muy fuertes. Las cárcavas son la expresión morfológica y paisajística más representativas.

5. Terrazas fluviales, originadas como consecuencia del encajamiento progresivo del río Mula en los materiales neógenos. Se han identificado seis niveles de terrazas fluviales situadas a +65m, +40m, +32-40, +15m, +5m y +2m sobre el cauce actual del río Mula. Es de mencionar que los niveles superiores se corresponden con depósitos fluvio-palustres, que se encuentran rellenando el paleovalle del río Mula (Romero Díaz et al., 1992a).

La cuenca de Mula, se caracteriza por ser una cuenca neógena - cuaternaria, que presenta un estado avanzado de excavación y de evacuación de sus depósitos sedimentarios. El drenaje actual jerarquizado y canalizado por el río Mula hacia el Segura ha vaciado y continúa haciéndolo, la depresión de los materiales margo-arcillosos que la rellenan. El carácter deleznable de los materiales, las características climáticas áridas que soporta la Región, junto a la escasa cubierta vegetal y con frecuencia, las deficientes prácticas agrícolas, han configurado un paisaje subdesértico, muy abarrancado, repleto de cárcavas y barrancos en donde las tasas de erosión son muy elevadas (Romero Díaz & López Bermúdez, 1985). La Cuenca de Mula es uno de los sectores de la Región de Murcia y de todo el dominio mediterráneo español, con mayores

tasas de erosión. Los sedimentos aportados por el río Mula, antes de recibir al río Pliego, al pequeño embalse de La Cierva (7 Mm³ en 1929 y 5,20 Mm³ en 1985), son de 51 t/ha/año, con la correlativa pérdida de capacidad de almacenamiento y regulación de las escorrentías (Romero Díaz et al. 1992b).

2.3. Estudios experimentales sobre procesos de erosión de suelos en la Cuenca de Mula.

En la cuenca de Mula se vienen realizando estudios de erosión de suelos desde 1982, año en el que el Área de Geografía Física de la Universidad de Murcia instaló las primeras parcelas experimentales. Ha sido objeto de estudio en numerosos proyectos de investigación, tanto de carácter regional (Comunidad Autónoma de la Región de Murcia), nacional (CICYT), como internacional (Programa EPOCH y Programa MEDALUS de la Comunidad Europea). Algunos de los datos obtenidos han servido para validar modelos de erosión (SHETRAN Y MEDALUS) y desde 1995, dos campos experimentales localizados en esta área forman parte de la RESEL (Red de Estaciones de Seguimiento y Evaluación de la Erosión y Desertificación).

Las primeras experiencias se realizaron en la cuenca de la “Rambla de Gracia” , un área localizada en el centro-norte de la cuenca de Mula, constituida por margas y areniscas. En ella se midieron y estudiaron: altitudes, pendientes, contornos topográficos, área de alimentación de escorrentías, humedad del suelo, tasas de infiltración, cubierta vegetal, capacidad de retención del suelo por algunas especies vegetales, etc., así como la importancia de los procesos erosivos y correlativa producción de sedimentos para todo el conjunto (López Bermúdez, et. al., 1984, 1986; Fisher et al., 1987; Francis, et al., 1986; Romero Díaz et al., 1988).

En 1988, se seleccionó una nueva área que integrara las condiciones ambientales semiáridas medias de la región suroriental de España, diseñándose el campo experimental de "El Ardal". Este campo, donde se incluye una microcuenca de 2 has. de superficie, se localiza en el flanco norte de la cuenca de Mula a 550 m de altitud, en una ladera cubierta de matorral mediterráneo y sobre sustrato calizo. Aquí se controlan parámetros climáticos, mediante una estación meteorológica automática y una red de 10 pluviómetros totalizadores; parámetros hidrológicos, a través de una estación de aforo; pérdidas de suelo y escorrentía, mediante 17 parcelas, con diferentes orientaciones, pendientes y usos del suelo; biomasa, índice de protección de la cubierta vegetal y hojarasca caída; también se mide la evolución de la humedad del suelo y se realizan diferentes análisis químicos de pérdida de fertilidad (Alias et al., 1997). El objetivo fundamental de este campo de experimentación consiste en estudiar las interacciones atmósfera-suelo-agua-planta en un medio mediterráneo y sus relaciones con los procesos de erosión del suelo, bajo matorral y diversos manejos del suelo. Algunos de los resultados obtenidos están publicados en López Bermúdez et al., 1991, 1996, 1998a, 1998b; Martínez Fernández et al., 1991, 1995, 1996; Romero Díaz et al., 1995, 1998,1999; Romero Díaz & Belmonte Serrato, 2002; Alias et al., 1997; Belmonte Serrato & Romero Díaz, 1999; Belmonte Serrato et al., 1999, 2002 .

En 1991, el Área de Geografía Física de la Universidad de Mula instaló un nuevo campo experimental, en el paraje denominado “Los Guillemos”, en la cuenca de Rambla Salada, paralela por el Sur a la cuenca de Mula, y en esta ocasión en litología margosa, en un sector de topografía muy abrupta, debido al fuerte abarrancamiento existente en esta área, con los objetivos de estudiar la génesis, evolución y prevención de cárcavas (López Bermúdez, et al., 1992). Las instalaciones que se pusieron en este lugar fueron objeto de vandalismo, en varias ocasiones, por lo que hubo que dismantelar la estación experimental, y se instaló una nueva en el

paraje de “El Minglanillo”, también en la Cuenca de Rambla Salada, en funcionamiento desde 1996 (figura 3).

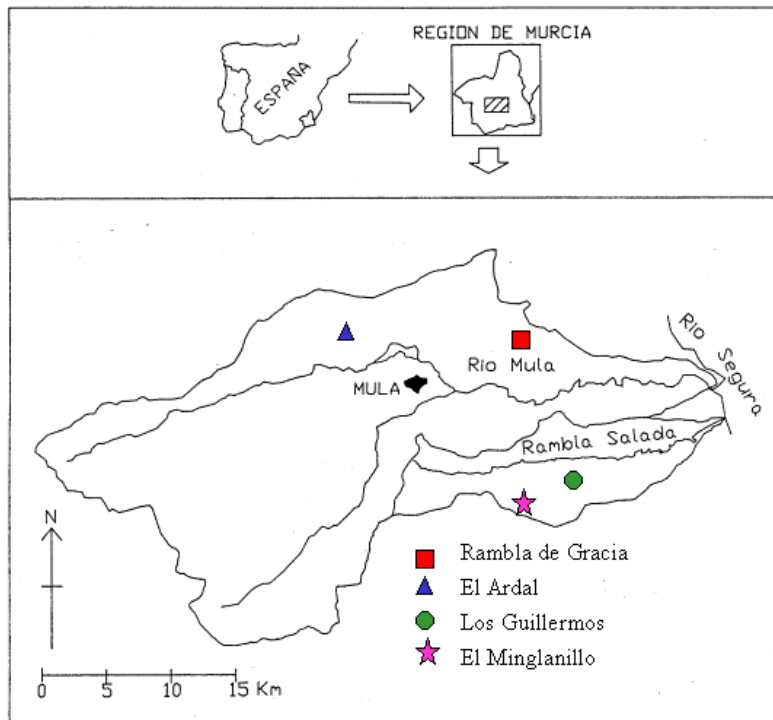


Figura 3: Localización de los campos experimentales de erosión en las Cuencas de Mula y Rambla Salada.

La estación experimental de “El Minglanillo”, instalada sobre margas, dispone de una estación meteorológica automática y en ella se han instalado 6 parcelas de erosión-escorrentía. Aquí se han realizado, junto a estudios de erosión laminar, diversos estudios de seguimiento de procesos de erosión en surcos. También se ha llevado a cabo una caracterización físico-química y mineralógica de los suelos, además de un seguimiento detallado de las variaciones en la humedad del suelo mediante el sistema TDR.

Las estaciones experimentales en la actualidad en funcionamiento (“El Ardal” y “El Minglanillo”), ambas dotadas con parcelas experimentales de erosión-escorrentía, muestran resultados bastante contrastados. La razón fundamental, creemos que se encuentra, en la distinta litología, calizas en “El Ardal” y margas en “El Minglanillo. En la tabla 1 se presenta la descripción de las principales características de los dos campos experimentales.

Tabla 1: Características de los campos experimentales “Ardal” y “Minglanillo”.

	EL ARDAL	EL MINGLANILLO
Fecha de instalación	1989	1996
Altitud	550 m	350 m
Orientación	350° Norte	45° Norte
Pendiente media	20%	10%
Litología	Calizas	Margas
Precipitación media	290 mm	270 mm
Temperatura media mínima	Enero 6°	Enero 12°
Temperatura media máxima	Agosto 24°	Julio 28°
ETP	1.000 mm	1.100 mm
Cubierta vegetal	Matorral denso	Matorral abierto

Para el periodo común de datos, se realizó un estudio comparativo (Romero Díaz y Belmonte Serrato, 2002), y en él se han observado las diferencias existentes entre ambos campos (tabla 2), distantes entre si tan sólo 18 km en línea recta y con prácticamente las mismas características climáticas. Las parcelas experimentales son del mismo tamaño (10 x 2 m) y están dedicadas a los mismos usos (en cultivo de cebada, en abandono después de haber sido cultivado y con cobertura de matorral), por lo que son susceptibles de comparación.

Tabla 2: Tasas de erosión y escorrentía del periodo común de datos en El Ardal y Minglanillo.

	EROSION (g/m²)		ESCORRENTIA (%)		TASA DE EROSION (tn/ha/año)	
	Ardal	Minglanillo	Ardal	Minglanillo	Ardal	Minglanillo
Usos suelo						
Cultivo	27.89	64.46	3.77	36.41	1.84	7.47
Matorral	2.31	7.27	1.57	4.41	0.21	0.80
Abandono	0.46	7.11	1.13	20.08	0.04	1.12

Es de destacar las diferencias tan marcadas que se observan en los dos campos, mientras que sobre margas (“El Minglanillo”) las tasas mas elevadas son de 7,5 tn/ha/año, sobre calizas (“El Ardal”) las tasas no superan las 2 tn/ha/año. Por usos del suelo, en “El Ardal”, los campos abandonados son los que menos erosión registran, por el contrario en “El Minglanillo” estos mismos campos registran más erosión que los que tienen una cobertura de matorral. Los campos con cultivo de cereal son los que presentan las mayores tasas de erosión, pero sobre margas los valores son muy superiores a los registrados sobre calizas (figura 4).

Algunos de los parámetros edáficos analizados (tabla 3) indican diferencias importantes en ambas áreas experimentales. El menor contenido en materia orgánica, la baja estabilidad de agregados y la presencia de menores elementos finos en los suelos, podría explicar las elevadas tasas de erosión y escorrentía de “El Minglanillo”, en comparación con las obtenidas en “El Ardal”.

De estos datos se deduce el riesgo que conlleva el extrapolar datos de erosión y escorrentía. En este caso, los campos experimentales están separados unos pocos kilómetros y en ellos se aprecian diferencias en los episodios lluviosos y un cambio radical en las características edáficas. Por ello, es importante poseer datos de la mayor cantidad de situaciones posibles, para, de este modo, poder ofrecer unos resultados más acordes con la realidad.

Tabla 3: Algunas características de los suelos en El Ardal y Minglanillo.

		Arcilla (%)	Limo (%)	Arena (%)	Materia Orgánica (%)	Estabilidad de agregados
Ardal	Matorral	50.2	17.9	32.0	5.1	22.4
	Abandono	34.0	28.6	37.4	4.1	11.5
	Cultivo	49.8	19.7	30.5	2.3	16.6
Minglanillo	Matorral	28.1	31.8	40.1	3.0	24.5
	Abandono	27.8	39.9	32.3	1.7	14.0
	Cultivo	35.1	42.4	22.6	0.7	5.0

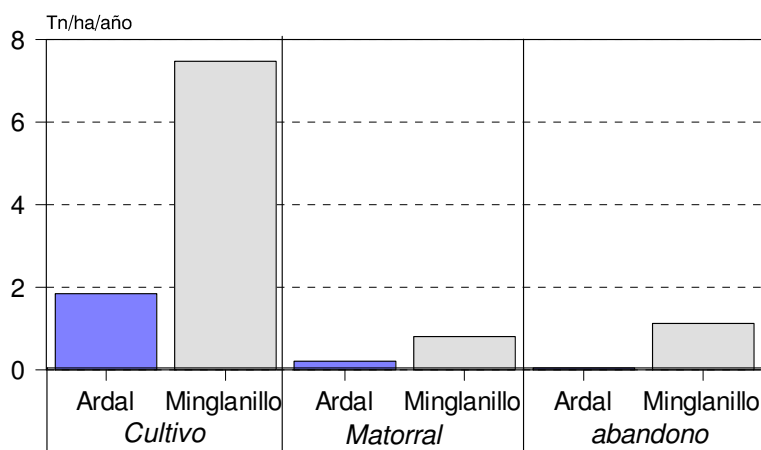


Figura 4: Tasas de erosión en los campos experimentales de “El Ardal y “El Minglanillo” (Romero Díaz & Belmonte Serrato, 2002).

VISITA 3: “CASA DE LOS VIRIJOS”. DEGRADACIÓN DE TIERRAS POR “PIPING” EN CAMPOS ABANDONADOS.

En la cuenca de Mula, los procesos de “piping” tienen una amplia representación, en especial, es en el término municipal de Campos del Río (margen derecha del río Mula), en donde su desarrollo, en campos de cultivo abandonados, es muy importante.

El término “piping” (erosión en túnel), definido por numerosos autores (Jones, 1981), se usa para describir los procesos de erosión subsuperficiales. El proceso se origina por flujos subsuperficiales concentrados que comienzan a partir de grietas de desecación o pequeñas diaclasas y provocan la remoción y disolución del material, creando conductos tubulares subterráneos (pipes), que evolucionan hacia cárcavas profundas de paredes verticales.

Las causas que originan el piping, descritas ampliamente, se atribuyen a orígenes diversos: mecánicas, químicas (dispersión del suelo), o bióticas (excavación de animales y plantas). De entre las causas esgrimidas con mayor frecuencia están: la existencia de un gradiente hidráulico,

diferencias de porosidad-permeabilidad en los distintos horizontes del suelo, presencia abundante de sodio y el tipo de uso del suelo (Parker, 1964). El piping se ha observado tanto en paisajes naturales como antrópicos, en diferentes climas, litologías y depósitos, así como bajo diferentes usos del suelo y cubierta vegetal. No obstante, en medios semiáridos alcanza un gran desarrollo y es donde se encuentran las formas mayores (Bryan & Jones, 1997).

El área visitada y que aquí se describe, ha sido estudiada por Sánchez Soriano et al., (2003, 2004) y Marín Sanleandro et al., (2004). En ella se han individualizado 7 zonas principales: seis de ellas (zonas 1,2,3,4,6 y 7) se corresponden con vaguadas aterrazadas y anteriormente en cultivo, y la zona 5, se corresponde con una ladera roturada y aterrazada para su puesta en cultivo, en espera de las aguas del trasvase Tajo-Segura, pero que nunca llegaron y por ello, estas tierras nunca se llegaron a cultivar. La superficie aproximada del área estudiada es alrededor de 2 km² (figura 5). La zona 6 (indicada en la figura 5), fue objeto de estudio con anterioridad por parte de López Bermúdez & Torcal Sainz, 1986; López Bermúdez & Romero Díaz, 1989; y Watts, 1991.

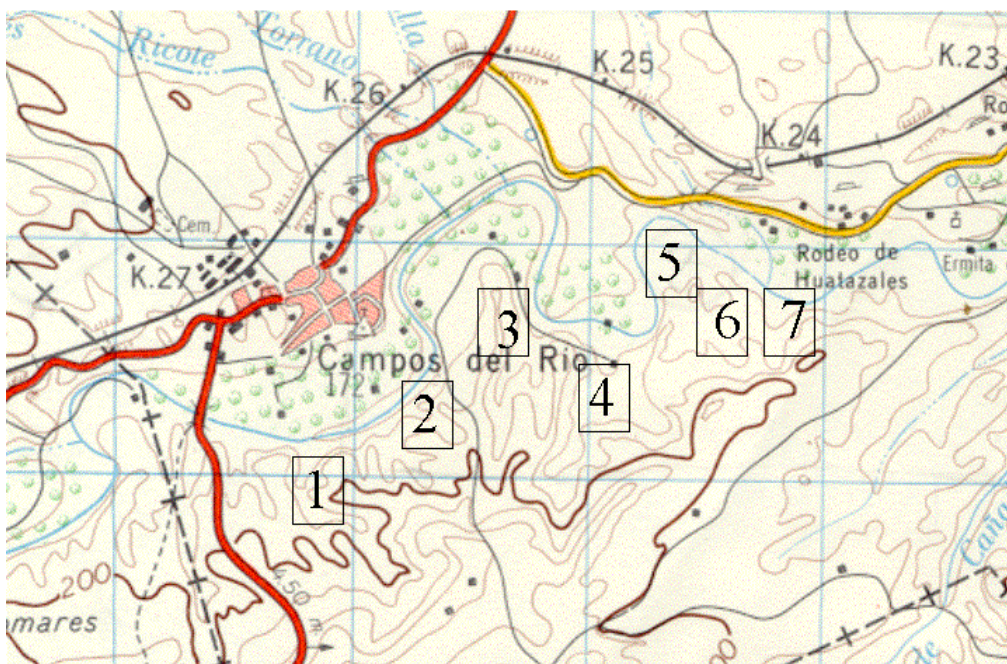


Figura 5: Localización de las áreas con “piping” en los alrededores de Campos del Río.

En la actualidad, toda esta área está intensamente afectada por los procesos de erosión hídrica, por lo que presenta un importante desarrollo de cárcavas y barrancos. Gran parte de las vaguadas fueron aterrazadas y usadas como tierras de cultivo de cereal primero, y de almendros después en algunas de ellas, hasta aproximadamente los años setenta. A partir de estos años se produjo un progresivo abandono, y el deterioro irreversible de estos campos de cultivo, en los cuales el proceso del piping se encuentra muy desarrollado. Los suelos son Regosoles calcáricos según FAO (1999) o Torriorthent típicos en Soil Taxonomy (1999). La escasa vegetación actual existente, compuesta principalmente por *Salsola genistoides*, *Lygeum spartium*, *Asparagus*, *Moricandia arvensis*, *Thimelaea hirsuta* y *Artemisia herbaalba*, no tiene el suficiente carácter protector, que estos suelos necesitan.

El estudio del piping, se ha hecho a partir de reconocimientos cartográficos detallados, interpretación de fotografías aéreas y minuciosos trabajos de campo. Se han medido: pendientes, superficies, profundidades de los pipes, altitudes entre las diferentes terrazas de

cultivo, superficie afectada por piping en cada parcela, etc. (tablas 4 y 5), con el fin de relacionar estos datos con los diferentes procesos que caracterizan la aparición y el desarrollo del piping. También se han tomado muestras de suelo en 4 de las 7 zonas estudiadas a dos profundidades, en superficie (0-30 cm) y a 1 metro, con el objetivo de realizar en ellas diferentes determinaciones analíticas en el laboratorio.

Las mediciones realizadas ponen de manifiesto la relación existente entre la profundidad de los pipes y la altura entre parcelas de cultivo, o nivel de base del río. El mayor desarrollo del proceso de piping se localiza en las parcelas abandonadas topográficamente más bajas, es decir, las más cercanas al nivel de base local (el río Mula). Por el contrario, las mayores profundidades, ligadas a las diferencias de altura entre parcelas, se dan donde los desniveles son mayores. En ocasiones, el desarrollo del piping es tan importante que se han puesto en comunicación dos parcelas, por lo que algunos pipes alcanzan los 8 metros de profundidad (tabla 4). Del área estudiada, el 71% de las parcelas están afectadas por piping, ocupando una superficie superior a 13 has (tabla 5).

Tabla 4. Características de las zonas de estudio con presencia de piping.

ZONA	Dimensión media de las parcelas (m ²)	Pendiente media (%)	Altura media entre parcelas (m)	Profundidad media de los pipes (m)	Altura Max. entre parcelas (m)	Profundidad máxima de los pipes (m)
1	739	7,7	2,01	1,11	4,60	4,50
2	2857	10	1,40	1,33	4,20	3,00
3	1258	5,5	1,89	0,88	6,00	8,00
4	1822	4	2,59	1,25	5,80	3,30
5	2218	7,5	1,82	1,00	3,50	7,00
6	1437	5,5	1,77	1,73	4,20	4,60
7	491	4	2,05	2,50	3,00	4,00
TOTAL	1456	6,3	1,93	1,40	6,00	8,00

Tabla 5. Parcelas afectadas por “piping”: número, porcentaje y superficie.

ZONA	Parcelas con piping N°	Parcelas sin piping N°	Parcelas con piping (%)	Parcelas sin piping (%)	Parcelas con piping (Ha)	Parcelas sin piping (Ha)	Hectáreas más afectadas
1	18	7	72	28	1,38	0,38	0,32
2	2	1	66,6	33,3	0,73	0,13	0,23
3	19	19	50	50	1,81	2,96	0,53
4	26	3	88,5	11,5	4,90	0,38	0,94
5	8	12	40	60	1,88	2,56	1,12
6	13	2	86,6	13,3	2,00	0,16	0,79
7	11	1	90,9	9,1	0,54	0,05	0,43
TOTAL	97	45	70,7	29,3	13,24	6,62	4,36

Las determinaciones realizadas en el laboratorio muestran que los suelos analizados tienen una textura fina: limo-arcillosa (en las capas más superficiales) y arcillo-limosa (en profundidad). La estabilidad de agregados (a excepción de la zona 1), muestra valores inferiores al 20%, por lo que se deduce que están pobremente estructurados. La densidad aparente se sitúa en valores ligeramente superiores a 1 g/cc (tabla 6). El contenido en materia orgánica es muy bajo (inferior al 1%, aunque con ligeras diferencias en superficie y a 1 metro de profundidad). Los valores de

nitrógeno total son también muy bajos, disminuyendo en todos los casos con la profundidad (tabla 7). Son suelos muy calizos (con un contenido en carbonato cálcico en torno al 60%), representando el carbonato cálcico activo más del 11% en todos los casos.

La conductividad eléctrica supera en todos los casos el umbral de 2 dS m^{-1} , a partir del cual se considera salinidad en el suelo, aumentando en profundidad, lo cual favorece la aparición de piping en niveles subsuperficiales. La capacidad de cambio catiónico es alta, debido a la cantidad y naturaleza de la fracción arcilla (constituida por illita y esmectita preferentemente). El porcentaje de sodio de cambio (P.S.C.) se encuentra como valor medio por encima de 5 (tabla 8), lo cual facilita la dispersión de las arcillas y la desestabilización de la estructura del suelo (sobre todo en profundidad), pero además los valores son en torno al 1% en las capas superficiales y por encima del 7% en profundidad, lo que reafirma la hipótesis de la formación de pipes en niveles subsuperficiales.

A modo de conclusión se puede apuntar que las superficies aterrazadas, con escasa pendiente, con cultivos abandonados durante un largo periodo, sobre suelos margosos, como las localizadas en el centro de la Cuenca de Mula son muy susceptibles a los procesos de erosión por “piping”. Las características específicas de los suelos, como los estudiados aquí, son la clave para la formación y el desarrollo de piping. Son de destacar: las diferencias de textura y estructura a diferentes profundidades, la presencia de sales con altos contenido en sodio, o de minerales de la arcilla, que provocan grietas de retracción, por donde el agua se infiltra etc.

La aparición de procesos de erosión en campos cultivados, son corregidos, habitualmente por los agricultores. Pero en el caso de campos de cultivo con sistemas de terrazas y abandonados, en litologías fácilmente erosionables, con ninguna protección vegetal o pedregosa y en ámbitos de características climáticas semiáridas, los procesos de erosión son muy difíciles de frenar. La degradación es tan grande que, en la mayoría de los casos, las superficies son irrecuperables para un uso agrícola, al mismo tiempo que las tasas de erosión que se registran, en estas áreas, son de las más elevadas.

Tabla 6. Estabilidad de agregados, densidad aparente y humedad a 105 °C

Muestra	Humedad a 105 °C(%)	Estabilidad de agregados(%)	Densidad aparente(g/c.c.)
P1-0	3.16	51.7	1.23
P1-1	3.20	68.9	1.26
P2-0	2.55	19.7	1.20
P2-1	2.30	21.9	1.13
P5-0	3.50	31.4	1.03
P5-1	2.80	16.2	1.15
P6-0	2.73	19.6	1.19
P6-1	3.20	18.3	1.07

Tabla 7. Datos analíticos generales.

Muestra	M.O. (%)	C (%)	N (mg/100 g)	C/N	C.E. dS m ⁻¹	Yeso (%)	CaCO ₃ Total %	CaCO ₃ Activo %
P1-0	0.81	0.47	59.1	7.9	2.34	0.19	66.56	12.15
P1-1	0.65	0.38	50.7	7.5	5.20	0.23	57.43	11.07
P2-0	0.86	0.50	60.0	8.3	4.05	0.98	59.59	12.24
P2-1	0.50	0.29	48.2	6.0	5.90	1.61	57.03	10.76
P5-0	0.76	0.44	50.3	8.7	5.94	1.09	59.91	11.03
P5-1	0.52	0.30	45.3	6.6	4.73	0.22	66.78	12.17
P6-0	1.03	0.60	62.8	9.6	2.62	0.63	63.33	13.00
P6-1	0.70	0.41	50.3	8.1	7.95	0.31	60.34	11.15

Tabla 8. Capacidad de cambio catiónico. Sodio, potasio y magnesio asimilables. Porcentaje de sodio de cambio.

Muestra	Na (mg/100g)	K (mg/100g)	Mg (mg/100g)	T (mE/100g)	P.S.C. (%)
P1-0	6	16.5	20	17.78	1.46
P1-1	40	16.25	40	17.78	9.78
P2-0	5.5	14.25	50	18.28	1.31
P2-1	44	12.25	52.5	17.78	10.76
P5-0	39.25	17	52.5	20.82	8.19
P5-1	40	12.5	30	21.84	7.96
P6-0	5	15	22.5	14.73	1.48
P6-1	32.5	12.5	62.5	15.24	9.27

VISITA 4 : CUENCA DE FORTUNA. PAISAJES DEGRADADOS Y EXPERIENCIAS REALIZADAS.

4.1. Suelos en ambientes mediterráneos: su degradación.

En condiciones naturales, el suelo tiende a un estado de equilibrio tras un lento proceso de formación denominado edafogénesis. El suelo en estas condiciones de máxima evolución se encuentra más o menos cubierto por una vegetación que le aporta una cantidad progresiva de materia orgánica y nutrientes contribuyendo a mantener e incluso mejorar su estructura, al tiempo que le sirve de protección frente a procesos degradativos de erosión. Puede decirse entonces que los suelos mantienen una calidad adecuada, y realizan todas sus funciones de manera correcta.

El equilibrio que alcanzan los suelos puede verse perturbado por diversas acciones, entre las que indudablemente merece la pena destacar las antrópicas. La agricultura en concreto, puede

(cuando se producen usos indebidos o abusivos de los suelos) perjudicar enormemente la calidad de los mismos, provocando que el suelo alcance niveles de dicha calidad mucho menores que los que mantienen los suelos naturales. En suelos del área Mediterránea sometidos a clima semiárido, los efectos negativos que el manejo agrícola inadecuado puede causar sobre su calidad se ven agravados por factores ambientales propios de esta región, tales como el sustrato litológico o el clima (Albajadejo y Diaz, 1990). Otro aspecto a destacar, y que incide en los procesos de degradación de un suelo, es la introducción de un determinado contaminante en el mismo, bien de forma accidental, bien por abusos de agroquímicos (pesticidas).

Podemos resumir diciendo que tanto la agricultura intensiva realizada en gran parte de los suelos del área mediterránea, como el empleo agrícola de terrenos marginales propensos a la degradación ambiental y poco aptos para el cultivo, así como los fenómenos de contaminación de suelos que por desgracia son bastante frecuentes, están forzando al empleo de técnicas inadecuadas de manejo para poder mantener la producción, dando lugar a una pérdida de la calidad y por tanto de la fertilidad de estos suelos; esta pérdida de productividad puede desembocar en el abandono de los suelos al no ser rentables económicamente. Como resultado, nos encontramos con extensas áreas de terreno que presentan síntomas severos de degradación mostrando una reducción de su cubierta vegetal, lo cual está estrechamente relacionado con la escasez de materia orgánica de estos suelos (García et al., 1996).

En zonas como la del sudeste español, con un régimen climático semiárido, la progresiva degradación que sufre afectará de forma primordial a la vegetación que soporta, estos suelos, es decir, a la autóctona del lugar de que se trate. Si dicha vegetación desaparece, los suelos quedan entonces desprovistos de su principal barrera contra la degradación y erosión, y dichos procesos comenzarán a instalarse de forma predominante. Como parece lógico, la pérdida de cubierta vegetal conllevará una pérdida de materia orgánica en el suelo al no existir entradas de carbono por vía natural (aportes vegetales), y también se producirá la pérdida de nutrientes como el N y el P. Todo ello dificultará sin duda el establecimiento de los ciclos biogeoquímico de los elementos en el suelo, incidiendo negativamente sobre las condiciones biológicas del mismo.

4.2. Aplicaciones biotecnológicas para recuperación de suelos degradados : incorporación de enmiendas orgánicas.

La materia orgánica del suelo tiene un papel fundamental en el desarrollo y funcionamiento de los ecosistemas terrestres, pues el contenido y dinámica de la misma determina la productividad potencial, tanto de los sistemas naturales como de los cultivados. Por tanto, una necesidad que hay que cubrir sin demora es la protección del contenido de materia orgánica en los suelos a través del desarrollo de prácticas de manejo que favorezcan su mantenimiento en dichos suelos.

La materia orgánica consiste en un complejo sistema de sustancias en un estado dinámico permanente, producido por la incorporación al suelo de residuos orgánicos, principalmente de origen vegetal y en menor cuantía animal, en diferentes estados de descomposición y evolución. Parte de esta materia orgánica fresca se mineraliza siguiendo los ciclos biogeoquímicos; otra es asimilada e incorporada por la biomasa del suelo; y una tercera sufre el proceso de humificación, dando lugar a una materia orgánica relativamente estable (humus) que representa la fracción más activa.

Aunque la materia orgánica, o humus, constituye una fracción pequeña del suelo, desempeña un papel importantísimo en su fertilidad. Para mantener la fertilidad de un suelo no sólo deben atenderse a las necesidades nutricionales de la planta, sino que es imprescindible el mantenimiento de un nivel adecuado de materia orgánica en el mismo, ya que ésta tiene una incidencia directa sobre las propiedades físicas, químicas y bioquímicas del suelo y sobre el desarrollo fisiológico de la planta.

A lo largo de lo que se ha expuesto hasta ahora, queda claro que pese a la enorme importancia que tiene la materia orgánica del suelo, existe una problemática muy concreta que afecta a gran parte de las zonas del sudeste mediterráneo español (y en particular, a la Región de Murcia); la mencionada problemática deriva del escaso contenido precisamente en dicha materia orgánica, lo cual redundará inexorablemente en una escasa fertilidad de estos suelos, y por tanto, en una mayor predisposición hacia fenómenos de degradación y desertización en ellos. Se llega pues al convencimiento de que sería bueno conseguir mejorar los contenidos de materia orgánica de los suelos.

Podemos aprovechar el hecho de tener que introducir materia orgánica en el suelo, con la necesidad de incorporar biomasa microbiana a los suelos degradados, tan necesitados de ella; el objetivo será reactivar todos los procesos llevados a cabo por los microorganismos. Deberíamos pues de buscar biotecnologías que permitan adicionar al suelo “bioenmiendas”, capaces de aportar los beneficios de la materia orgánica, además de servir como inóculo de biomasa microbiana al suelo. Hasta ahora, el aporte de materia orgánica a los suelos sometidos a cultivo se venía realizando por medio de los estiércoles y las turbas. Pero tanto una como las otras, cada vez son más escasas y costosas, lo que ha hecho necesaria la búsqueda de nuevas fuentes de materia orgánica para los suelos, a poder ser de bajo costo y fácil acceso.

Como nuevas fuentes de materia orgánica para ser adicionadas a los suelos, se ha propuesto el empleo de aquella contenida en los residuos urbanos de carácter orgánico, y en concreto, la de los lodos procedentes de la depuración de agua residual urbana y la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos. De esta forma se conseguiría un doble objetivo: por un lado, paliar la escasez de materia orgánica en los suelos (como es nuestro caso); y por otro, dar una salida racional a la gran generación de residuos en zonas urbanas. Además de lo expuesto, hay que indicar (y así se pondrá posteriormente de manifiesto), que este tipo de materiales orgánicos tiene la ventaja de producirse de manera continua y puntual, y de ser económicamente rentables. Indudablemente, también existen desventajas derivadas fundamentalmente de su mal uso y de algunos contaminantes que pueden incorporar, lo que podría conducir de no tener precaución y control, a impactos negativos sobre el suelo donde se propone reciclar estos materiales.

Reciclaje en el suelo de los residuos orgánicos de origen urbano.

La utilización de la fracción orgánica de los residuos urbanos, tanto en agricultura como en programas de recuperación de suelos degradados, puede ser de interés debido, por una parte, a que es un modo de aprovechar la elevada proporción de materia orgánica, rica en macro y micronutrientes que contiene; por otra, supone una vía racional de eliminación de dichos residuos, con el consiguiente beneficio medioambiental, siempre que dicho uso se realice de forma eficaz y controlada. como característica principal está la liberación de nutrientes de forma

gradual en función de la progresiva mineralización de la materia orgánica presente en los residuos, manteniendo así la fertilidad del suelo (Ayuso et al., 1996).

Sin embargo, el reciclado de estos materiales en el suelo puede provocar un impacto ambiental negativo si no se emplean de manera adecuada, debido a la presencia en ellos de compuestos tóxicos. Principalmente cabe destacar el mal olor, aporte de metales pesados, microorganismos patógenos, exceso de nutrientes y deficiencia o demanda de los mismos y salinidad.

Saneamiento de residuos orgánicos mediante su estabilización (Compostaje).

Los materiales orgánicos como los residuos urbanos, contienen, como hemos indicado, sustancias fitotóxicas, y materia orgánica lábil a veces en exceso, capaz de provocar en ocasiones en el suelo un aumento exagerado de actividad microbiana que podrá derivar en una competencia entre los microorganismos y la planta por algún nutriente como el nitrógeno. Tampoco hay que olvidar que los residuos urbanos, en particular los lodos de depuración, también incorporan microorganismos patógenos no deseables. Todos estos aspectos, derivados de ser materiales orgánicos no estabilizados, son subsanables si se realizan adecuados procesos de estabilización de dichos materiales orgánicos. Los procesos de compostaje son, actualmente, los más empleados para conseguir la mencionada estabilización. El paso del material por distintas fases: fase de mineralización (fase mesófila y fase termófila) y la fase de maduración, conseguirá, sin duda, destruir las sustancias fitotóxicas y los microorganismos patógenos, garantizando su saneamiento, y originando, a su vez, una materia orgánica más estable y humificada y útil para ser empleada como fertilizante orgánico en los suelos (García et al., 1992). El saneamiento aludido debe de considerarse prioritario e imprescindible cuando el uso del enmendante orgánico sea en agricultura.

El compostaje se define como: un proceso biooxidativo controlado en el que intervienen numerosos y variados microorganismos, que requiere una humedad adecuada y sustratos orgánicos heterogéneos en estado sólido, implica el paso por una etapa termófila y una producción temporal de fitotoxinas, dando al final como productos de los procesos de degradación: agua, dióxido de carbono y una materia orgánica estabilizada, libre de sustancias fitotóxicas y dispuesta para ser usada.

En este proceso se distinguen dos fases: la primera de *mineralización* de la fracción orgánica, en la que la actividad microbiana es máxima debido a la abundancia de compuestos fácilmente biodegradables y en la que se destruye gran parte de la materia orgánica lábil. La segunda fase es de *maduración* o *estabilización* del material, en la que la actividad de los microorganismos es menor, predominando la humificación, con reacciones de policondensación y polimerización y en la que se forma un producto similar al humus que se conoce con el nombre de *compost*.

El compostaje precisa de un control para conseguir un producto final apto para su uso como enmendante orgánico. Los parámetros que se deben controlar durante el proceso son:

- *Humedad*: es uno de los principales factores a controlar ya que, si es excesiva, el agua desplazará al aire de los espacios intersticiales y se desencadenará una fermentación anaerobia. Si por el contrario la humedad es baja, cesa la actividad microbiana. Los niveles óptimos de humedad se sitúan entre el 40-60%.

- *Temperatura:* su variación controla la sucesión de distintas poblaciones microbianas. La temperatura máxima que se debe alcanzar son 70°C, temperatura a la que se destruyen los microorganismos patógenos y semillas de malas hierbas.
- *Aireación:* su importancia es clara por tratarse de un proceso de fermentación aerobia y se consigue mediante el volteo periódico de las pilas o insunflando de aire forzado. En ausencia de aire se obtiene un material no aceptable y una liberación de malos olores.

Todo lo expuesto lleva a pensar que, en primer lugar, hay que ser conscientes de que las enmiendas orgánicas deben ir encaminadas a mejorar la calidad del suelo donde se adicionan, y nunca a ser un método encubierto de eliminación irracional de residuos. Es necesario partir de materiales iniciales de calidad, exentos de inertes y, en gran medida, de compuestos no deseables como metales pesados. Es por ello que todas las políticas tendentes a mejorar recogida selectiva en basuras, con una buena separación de la fracción orgánica sin contaminantes, así como a la obtención de lodos de depuración urbana sin contenidos metálicos, hay necesariamente que apoyarlas e incentivarlas. De esta forma, no existirá conflicto alguno desde el punto de vista medioambiental para su empleo.

Interesa señalar también la necesidad de ejercer un adecuado control sobre el uso de enmendantes orgánicos al suelo, con el fin de evitar riesgos de todo tipo. Cuando el uso de estos productos es para agricultura, los controles deben de ser sumamente exhaustivos, pues de esta manera podremos estar protegidos frente a acciones no deseadas que pueden repercutir incluso en la salud humana y en la contaminación ambiental. Si el empleo de la enmiendas orgánicas es en programas de rehabilitación de suelos degradados, reforestación, o recuperación de suelos de minas por ejemplo, el nivel de permisividad podría llegar a ser algo mayor que en el caso del empleo en agricultura. Pero esto no quiere decir que en estos casos no haya que tomar las oportunas precauciones para el empleo medioambientalmente correcto de estos materiales.

Podemos concluir que el reciclado en el suelo de materiales orgánicos es una biotecnología capaz de aportar beneficios a dicho suelo, siempre que la adición de esos materiales orgánicos de nueva generación (fracción orgánica de residuos urbanos) se realice de forma racional y con control. Si es así, la mencionada biotecnología puede servir como estrategia para combatir fenómenos de degradación y desertificación de suelos, en particular en zonas semiáridas con escaso contenido en materia orgánica.

4.3. Recuperación de suelos degradados mediante la adición de residuos urbanos orgánicos: un caso práctico.

La pérdida de la materia orgánica y la degradación de la estructura del suelo se relacionan estrechamente con la disminución de la fertilidad agrícola y con el riesgo creciente de erosión. Este fenómeno se definió como la disminución o destrucción del potencial biológico del suelo, pudiendo conducir, en último termino, a condiciones de tipo desérticas.

Un modo de mejorar la fertilidad de los suelos degradados, y en concreto de mejorar su actividad microbiana, es como se ha indicado con anterioridad, aportar a los mismos materia orgánica exógena, pero siempre que dicha materia orgánica pueda ser considerada "JOVEN" (Díaz, 1992; García et al., 1998). Con ello queremos decir que debe de contribuir a aportar materia orgánica lábil en cantidad suficiente como para activar el desarrollo de las poblaciones microbianas existentes en el suelo, sin llegar a producir efectos adversos en el mismo. Los residuos urbanos

de origen orgánico son muy apropiados para llevar a cabo la mencionada labor. Sus características determinan que se comporte bien desde un punto de vista físico (aumenta la porosidad del suelo), que contribuya a mejorar el aspecto nutricional del suelo, y en particular, su materia orgánica lábil es sumamente beneficiosa al actuar como un catalizador para los microorganismos, consiguiendo así mejorar claramente la fertilidad potencial del suelo, y con ello los ciclos biogeoquímicos de los elementos más importantes.

A continuación se exponen los resultados obtenidos en un experimento de campo de 5 años de duración, en el que se incorporó a un suelo degradado dos dosis de material orgánico procedente de la fracción orgánica de un residuo sólido urbano. Además de la mejora que el suelo experimentó en cuanto a sus propiedades físicas y químicas, existe un claro beneficio sobre la fertilidad natural del suelo, consecuencia sin duda de la aparición de la vegetación espontánea que apareció; este hecho produjo una reactivación de la actividad microbiana del suelo, contribuyendo a recuperar la fertilidad biológica del mismo.

En ecosistemas tan degradados como el que nos ocupa (suelos sin vegetación, sometidos a condiciones climáticas adversas y con escasos contenidos en materia orgánica), las poblaciones microbianas capaces de sobrevivir son más bien escasas y las que lo hacen se mantienen en un equilibrio precario. Entre los principales factores que afectan al desarrollo de los organismos hay que destacar las altas temperaturas y las escasas lluvias, lo que se traduce en una elevada evapotranspiración que conlleva a un déficit hídrico en el suelo. Aquellos organismos que mejor se adaptan a estas condiciones poseen un patrón de comportamiento común: su período de actividad se reduce a las épocas de disponibilidad de agua y en los períodos desfavorables desarrollan formas de resistencia. Ante este panorama, la adición de residuos urbanos es uno de los métodos biotecnológicos propuestos para la mejora de la calidad del suelo, sobre todo si el material aportado tiene un alto contenido en carbono orgánico fácilmente biodegradable. Por esto, como ya indicamos anteriormente, los residuos orgánicos urbanos pueden ser definidos como bioenmendantes por su capacidad de mejorar la fertilidad biológica y bioquímica de un suelo, definiendo dicha fertilidad como aquella que está íntimamente relacionada con los microorganismos.

VISITA 5: PARCELAS EXPERIMENTALES EN LA FINCA “TRES CAMINOS”, CEBAS-CSIC.

En esta visita se observará un experimento donde, a un suelo degradado, propio de nuestra zona, el cual fue abandonado para cualquier actividad agrícola, desde hace 15 años. En este experimento se han incorporado a las parcelas diversos tratamientos orgánicos (enmienda orgánica fresca, enmienda orgánica compostada, sustancias húmicas extraídas de enmiendas orgánicas). En el ensayo que aquí veremos, interesa señalar en primer lugar que en todas las parcelas enmendadas, después de los tres primeros meses empezó a emerger una vegetación, de forma totalmente espontánea. El hecho de la aparición de una vegetación espontánea en las parcelas enmendadas influirá positivamente en la menor pérdida de suelo por escorrentía, debido a la fijación de dicho suelo por las raíces; así mismo, la mencionada vegetación también supone una fuente exógena de materia orgánica al suelo (restos vegetales y exudados radiculares), lo cual redundará en beneficio de la calidad del suelo, tal y como ha establecido Ros (2000).

Las especies vegetales más favorecidas en los suelos enmendados son *Moricandia arvensis* y *Diplotaxis muralis*, las cuales son consideradas como oportunistas. Con el tiempo de

experimento, se aprecia así mismo que van colonizando los suelos un tipo de vegetación más perenne, con especies tales como *Thymus hyemalis* o *Brachypodium retusum*. Podría entenderse que con el tiempo, los suelos enmendados llegan a un equilibrio para establecer una vegetación estable en dichos suelos (Pascual et al., 1997).

En la tabla 9, mostramos los resultados obtenidos en ensayos conducidos a nivel laboratorio, y que pretendemos corroborar en los ensayos de campo que se visitan. Hemos de decir que las enmiendas orgánicas permiten mejorar de manera clara propiedades del suelo tanto físicas como nutricionales (aumento del contenido en nitrógeno y fósforo). Más importante, si cabe, es el aumento de carbono orgánico, y por tanto de materia orgánica, que esperamos se producirá en los suelos enmendados. El aumento en materia orgánica que se apreciará después de un tiempo de la adición de los materiales al suelo se deberá, fundamentalmente, no tanto al material orgánico que se adiciona inicialmente (gran parte del cual se mineralizará en el tiempo), sino a los restos vegetales que se aporten, consecuencia de la vegetación de tipo espontáneo que se genera en los suelos enmendados.

Lo expuesto hasta ahora refleja claramente el aspecto positivo que biotecnologías como la incorporación de bioenmendantes al suelo pueden tener sobre la recuperación del mismo. Al margen de ello, consideramos necesario establecer algunos criterios sobre el mencionado tipo de biotecnologías:

- Si bien es cierto que los bioenmendantes a partir de residuos orgánicos de origen urbano (fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos y lodos generados en el tratamiento de depuración de aguas de origen urbano), debido a su elevado contenido en materia orgánica, junto a una nada despreciable cantidad de macro y micronutrientes, son buenos candidatos para incorporarlos a suelos degradados con fin de recuperarlos, no es menos cierto que también pueden generar problemas. Este tipo de materiales puede contener metales pesados y otros productos orgánicos que no deben ser adicionados al suelo. Es por tanto una exigencia ineludible realizar un análisis exhaustivo de los residuos orgánicos previo a su aplicación al suelo, así como establecer un control posterior de dichos suelos donde se ha efectuado la adición.
- Por lo que respecta a la diferente estabilidad de la materia orgánica a adicionar, hemos de indicar que si los residuos orgánicos de origen urbano se someten a adecuados procesos de compostaje y maduración previo a su incorporación al suelo, se consigue un carbono estable en dicho suelo por más tiempo que cuando dichos residuos se adicionan sin estabilizar. Los compost no contienen microorganismos patógenos, mal olor y sustancias de origen fitotóxico, lo cual hace que el proceso de compostaje sea imprescindible para el uso en agricultura de estos productos; sin embargo, los frescos disponen de un mayor contenido en biomasa microbiana, capaz de actuar como “catalizador” en la recuperación de suelos degradados. La elección en recuperación de suelos de un material fresco o compostado dependerá en gran medida del análisis del material de partida, y de características de la zona a restaurar.
- Un aspecto importante y que merece la pena señalar es la aparición con la adición de enmiendas al suelo, de una vegetación espontánea. Si bien dicha vegetación es oportunista al inicio, su incorporación como biomasa vegetal al suelo será sumamente útil para la recuperación del mismo; además, con el tiempo, la vegetación oportunista evolucionaría hacia especies autóctonas perennes. La existencia de la vegetación es clave para evitar pérdida de suelo por escorrentía.

Tabla 9: Valores de algunos parámetros determinados en suelos recuperados con residuos urbanos (Ensayo en laboratorio)

PARÁMETRO	Suelo control	Suelo dosis Baja	Suelo Dosis Alta	MDS (p<0,05)
FISICOS				
Porosidad %	57,50	59,58	61,25	1,7
Cap. Ret. Hídrica %	54,48	58,50	67,40	5,1
FISICO-QUIMICOS				
PH	8,80	8,44	7,62	0,61
CE (dS7m)	1,20	2,62	3,60	0,62
NUTRICIONAL				
Nt g/kg	0,40	0,82	2,38	0,06
Pt g/kg	0,58	0,93	1,03	0,25
MATERIA ORGANICA				
COT g/kg	5,45	12,46	20,88	0,6
C Soluble agua mg/kg	180	295	610	40
BIOLOG. Y BIOQUIM.				
C Biomasa mic. µg/g	590	720	980	120
Respiración basal ngCO ₂ /g	23	51	84	14
Act. Deshidrogenasa µg INTF/g*h	0,52	1,15	2,18	0,35
Act. Fosfatasa mol PNP/g*h	24	55	162	19

INTF: Yodo nitro tetrazolio formazano. PNP: p-nitrofenil fosfato

III. REFERENCIAS

- Albaladejo, J. & Díaz, E. (1990). Degradación y regeneración del suelo en el mediterráneo español: experiencias en el proyecto Lucdeme. En J. Albaladejo, M. A. Stocking, E. Díaz (Eds.). *Soil Degradation and Rehabilitation in Mediterranean Environmental Conditions*. CSIC. Madrid.
- Alias, L.J., López Bermúdez, F., Marín, P.; Romero Díaz, A. & Martínez Fernández, J. (1997): Clay minerals and soil fertility loss on Petric Calcisol under a semiarid mediterranean environment. *Soil Technology*, 10: 9-19. Netherlands.
- Ayuso, M., Hernández, T., García, C. & Pascual, J.A. (1996). A comparative study of the effect on barley growth of humic substances extracted from municipal wastes and from traditional organic materials. *Journal of Science of Food and Agriculture*. 59:313-319.
- Belmonte Serrato, F., Romero Díaz, A. López Bermúdez, F. & Hernández Laguna, E. (1999): Optimo de cobertura vegetal en relación a las pérdidas de suelo por erosión hídrica y las pérdidas de lluvia por interceptación. *Papeles de Geografía*, 30: 5-15. Universidad de Murcia.
- Belmonte Serrato, F., Romero Díaz, A (1999): *Interceptación en algunas especies del matorral mediterráneo*. Cuadernos de Ecología y Medio Ambiente. Universidad de Murcia, 202 pp..

- Belmonte Serrato, F., Romero Díaz, A., López Bermúdez, F. & Delgado Iniesta, M.J. (2002): Changes in the physical and chemical properties of the soil in confined erosion plots (Murcia, Spain). En J.L. Rubio, R.P.C. Morgan, S. Asins & V. Andreu, (Eds.) *Proceedings of the third International Congress Man and Soil at the Third Millennium*. 1459-1470. Geoforma Ediciones, Logroño.
- Bryan, R. & Jones, J. A. A. (1997): The significance of soil piping processes: inventory and prospect. *Geomorphology*, 20: 209-218.
- Ceccanti, B. Y García, C. (1994). Coupled chemical and biochemical methodologies to characterize a composting process and the humic substances. p. 1279-1285. In: N. Senesi and T. Miano (Eds.) *Humic substances in the global environment and its implication on human health*. Elsevier, New York.
- Díaz, E., Roldán, A., Lax, A. & Albaladejo, J. (1994). Formation of stable aggregates in degraded soil by amendment with urban refuse and peat. *Geoderma* 63, 277-288.
- Doran, J.W. & Parkin, T.B. (1994). Defining and assessing soil quality. p. 3-23. In: J.W. Doran, D.C. Coleman, D.F. Bezdicek, and B.A. Stewart (Eds.) *Defining soil quality for a sustainable environment*. SSSA Inc Madison, USA.
- Fisher, G., Romero Díaz, A., López Bermúdez, F., Thornes, J.B. & Francis, C. (1987): La producción de biomasa y sus efectos en los procesos erosivos en un ecosistema mediterráneo semiárido del Sureste de España. *Anales de Biología*, V.12 (Biología Ambiental), N° B 3: 91-102. Universidad de Murcia.
- Francis, C., Thornes, J.B., Romero Díaz, A., López Bermúdez, F. & Fisher, G.C. (1986): Topographic control of soil moisture, vegetation cover and degradation in a moisture-stressed Mediterranean Environment. *Catena*. Interdisciplinary Journal of Soil Science, Hydrology and Geomorphology. Germany., vol. 13 (2): 211-225.
- García, C., Hernández, T., Costa, F. & Barahona, A. (1996). Organic matter characteristics and nutrient content in eroded soils. *Environmental Management* 20:133-141.
- Jones, J. A. A. (1981): The nature of soil piping a review of research. Geobooks. Norwich, BGRG. Research Monograph nº.3, pp. 301.
- López Bermúdez, F., Thornes, J.B., Romero Díaz, A., Fisher, G. & Francis, C. (1984): Erosión y Ecología en la España semiárida (Cuenca de Mula. Murcia). *Cuadernos de Investigación Geográfica*, Tomo X (1- 2): 113-126. Num. monográfico: "Procesos actuales en Geomorfología". Logroño. La Rioja.
- López Bermúdez, F., Thornes, J.B., Romero Díaz, A., Francis, C. & Fisher, G. (1986): Vegetation-Erosion relationships: Cuenca de Mula, Murcia. Spain. En F. López Bermúdez & J.B. Thornes (eds.) *Estudios sobre Geomorfología del sur de España*, Murcia., 101-104.
- López Bermúdez, F. & Torcal, L. (1986): Procesos de erosión en túnel (piping) en cuencas sedimentarias de Murcia. Estudio preliminar mediante difracción de rayos X y microscopio de barrido. *Papeles de Geografía*, 11: 7-20.
- López Bermúdez, F. & Romero Díaz, A. (1989): Piping Erosion and badland development in South-East Spain. *Catena Supplement*. 14: 59-73. *Arid & Semi-Arid Environment. Geomorphological & Pedological Aspects*.
- López Bermúdez, F., Romero Díaz, A. & Martínez Fernández, J. (1991): Soil erosion in a Semi-Arid Mediterranean environment. El Ardal Experimental field (Murcia, Spain). In *Soil Erosion Studies in Spain*. (M. Sala, J.L. Rubio, J.M. Garcia Ruiz, Eds.). Geoforma Ediciones. Logroño. 137-152.
- López Bermúdez, F., Alonso Sarria, F., Romero Díaz, A., Conesa García, C., Martínez Fernández, José & Martínez Fernández, Julia (1992): Caracterización y diseño del campo experimental de "Los Guillemos" (Murcia) para el estudio de los procesos de erosión y desertificación en litologías blandas. En F. López Bermúdez, C. Conesa García, A.

- Romero Díaz, (eds.) *Estudios de Geomorfología en España* Sociedad Española de Geomorfología y Area de Geografía Física Universidad de Murcia, 151-160.
- López Bermúdez, F., Romero Díaz, A., Martínez Fernández, José, & Martínez Fernández, Julia., (1996): The El Ardal Field Site: Soil and Vegetation Cover. In *Mediterranean Desertification and Land Use (MEDALUS)*. J.Brandt and J. Thornes, Eds., John Wiley & Sons, Chichester, 169-188.
- López Bermúdez, F., Romero Díaz, A. & Martínez Fernández, J. (1998a): El Ardal, Murcia, Spain. In *Atlas of Mediterranean Environments in Europe. The Desertification context*. P. Mairota, J.B. Thornes & N. Geeson, Eds. John Wiley & Sons, Chichester, 114-118.
- López Bermúdez, F., Romero Díaz, A., Martínez Fernández, J. & Martínez Fernández, J. (1998b): Vegetation and soil erosion under semi-arid mediterranean climate: a case study from Murcia (Spain). *Geomorphology*, 24: 51-58. Amsterdam, Elsevier Science Publishers.
- Marín Sanleandro, P., Romero Díaz, A. & Sánchez Soriano, A. (2004): Influencia de las propiedades químicas del suelo en el proceso de formación de piping (Murcia, Sureste de España). *Fourth International Conference on Land Degradation*”, Cartagena (en prensa).
- Martínez Fernández, Julia, López Bermúdez, F., Romero Díaz, A., Martínez Fernández, José & Alonso Sarria, F. (1991): El matorral semiárido del sureste de España. Aportación metodológica para su evaluación. *Studia Oecológica*, 8: 97-105.
- Martínez Fernández, J., López Bermúdez, F., Martínez Fernández, J. & Romero Díaz, A. (1995): Land use and soil-vegetation relationships in a Mediterranean ecosystems: El Ardal, Murcia, Spain. *Catena*, 25 (1-4): 153-167. Special Issue *Experimental Geomorphology and Landscape Ecosystem Changes*, J.Poesen, G.Govers & D.Goossens (Editors).
- Martínez Fernández, J., Martínez Fernández, J., López Bermúdez, F., Romero Díaz, A. & Belmonte Serrato, F. (1996): Evolution of vegetation and pedological characteristics in fields with different age of abandonment: A case study in Murcia (Spain). In *Desertification and Land degradation in Mediterranean Environments*, J.L. Rubio;A.Calvo (Eds). Geoforma Ediciones, 279-290. Logroño.
- Mather A.E., Silva, P.G., Harvey, A.M., Zazo, C. & Goy, J.L. (1992): The impact of neotectonic activity on late Quaternary aggradational and dissectional sequences in the Mula Basin (SE Spain). *Abstracts Conference on Mediterranean rivers environment*. Cambridge.
- Parker, C.G. (1964): Piping, a geomorphic agent in landform development of the drylands. In, *Land Erosion, Precipitation, Hydrometry, Soil Moisture*. Proceedings of the General Assembly of Berkeley, 19-31 August 1963. International association of Scientific Hydrology Publication 65: 103-113.
- Parcual, J.A., García, C., Hernández, T. & AYUSO, M. (1997) Changes in the microbial activity of an arid soil amended with urban organic wastes. *Biology and Fertility of Soils* 24:429-434.
- Ros Muñoz, M. (2000). Recuperación de suelos agrícolas abandonados mediante el reciclaje en los mismos de residuos orgánicos de origen urbano. Tesis Doctoral Universidad de Murcia.
- Romero Díaz, A. & López Bermúdez, F. (1985): Procesos de erosión en Cuencas Neógenas-Cuaternarias: La Cuenca de Mula. *Guía de Itinerarios Geográficos de la Región de Murcia*, 83-97. Universidad de Murcia.
- Romero Díaz, A., López Bermúdez, F., Thornes, J.B., Francis, C. & Fisher, G.C. (1988): Variability of overland flow erosion rates in a semi-arid Mediterranean Environment under matorral cover. Murcia, Spain. *Catena Supplement* 13: 1-11. Germany.
- Romero Díaz, A., López Bermúdez, F., Silva, P.G., Rodríguez Estrella, T., Navarro Hervás, F., Díaz Del Olmo, F., Goy, J.L., Zazo, C., Baena, R., Somoza, L., Mather, A. & Borja, F. (1992a): Geomorfología de las cuencas neógeno-cuaternarias de Mula y Guadalentín.

- Cordilleras Béticas, Sureste de España. En F. López Bermúdez, C. Conesa García, A. Romero Díaz, (eds) *Estudios de Geomorfología en España*. Sociedad Española de Geomorfología y Area de Geografía Física Universidad de Murcia, 749-786.
- Romero Díaz, A., Cabezas, F. & López Bermúdez, F. (1992b): Erosion and fluvial sedimentation in the River Segura Basin. Spain. *Catena*, 19: 379-392.
- Romero Díaz, A., Barbera, G.G. & López Bermúdez, F. (1995): Relaciones entre erosión del suelo, precipitación y cubierta vegetal en un medio semiárido del sureste de la península Ibérica. *Lurralde*, 18: 229-243. San Sebastián.
- Romero Díaz, A., López Bermúdez, F., Belmonte Serrato, F. & Barberá, G.G. (1998): Erosión y escorrentía en el campo experimental de "El Ardal" (Murcia). Nueve años de experiencias. *Papeles de Geografía*, 27: 129-144. Universidad de Murcia
- Romero Díaz, A., Cammeraat, L.H., Vacca, A & Kosmas, C. (1999): Soil erosion at experimental sites in three Mediterranean countries: Italy, Greece and Spain. *Earth Surface Processes Landforms*, 24: 1243-1256. John Wiley and Sons.
- Romero Díaz, A. & Belmonte Serrato, F. (2002): Erosión del suelo en ambiente semiárido extremo bajo diferentes tipos de litologías y suelos. En A. Pérez González, J. Vagas y M.J. Machado (Eds.) *Aportaciones a la geomorfología de España en el inicio del tercer milenio*. 315-322. ITGE, Serie Geológica 1, Madrid.
- Sánchez Soriano, A., Romero Díaz, A. & Marín Sanleandro, P. (2003): Procesos de "piping" en campos de cultivo abandonados (Campos del Río, Murcia). En R. Bienes y M.J. Marques (Eds.) *Control de la erosión y degradación del suelo*. IMIA, Madrid, 625-629.
- Sánchez Soriano, A., Marín Sanleandro, P. & Romero Díaz, A. (2004): Influencia de las propiedades físicas del suelo en el proceso de formación de pipes (Región de Murcia, Sureste de España). *Fourth International Conference on Land Degradation*, Cartagena (en prensa).
- Sanz de Galdeano, C. (1983): Los accidentes y fracturas principales de las Cordilleras Béticas. *Estudios Geológicos*, 39:157-165.
- Watts, G. (1991): The relationship between soil piping and changing farming techniques on semiarid agricultural terraces. Proceeding of 20th General Assembly of the International Union of Geodesy and geophysics at Viene. IAHS Publication 202: 81-89.

IV. FOTOS.

1. Vista parcial de la Cuenca de Mula.
2. Ejemplo de campos de cultivo abandonados y afectados por procesos de piping.
- 3.
- 4.
- 5.
- 6.

Figuras:

Figura 1: Esquema tectónico y de las principales unidades geológicas de las Cordilleras Béticas (Sanz de Galdeano, 1983).

Figura 2: Esquema tectónico y morfosedimentario de la Cuenca de Mula (Mather et al., 1992)

Figura 3: Localización de los campos experimentales de erosión en las Cuencas de Mula y Rambla Salada.

Figura 4: Tasas de erosión en los campos experimentales de “El Ardal y “El Minglanillo”

Figura 5: Localización de las áreas con “piping” en los alrededores de Campos del Río.

Tablas:

Tabla 1: Características de los campos experimentales “Ardal” y “Minglanillo”.

Tabla 2: Tasas de erosión y escorrentía del periodo común de datos en los dos campos experimentales.

Tabla 3: Algunas características de los suelos en los dos campos experimentales.

Tabla 4: Características de las zonas de estudio con presencia de piping.

Tabla 5: Parcelas afectadas por “piping”: número, porcentaje y superficie.

Tabla 6: Estabilidad de agregados, densidad aparente y humedad a 105°C.

Tabla 7: Datos analíticos generales

Tabla 8: Capacidad de cambio catiónico. Sodio, potasio y magnesio asimilable. Porcentaje de sodio de cambio.

Tabla 9: Valores de algunos parámetros determinados en suelos recuperados con residuos urbanos (Ensayo de laboratorio).

Fotos: A incluir 6 fotos, cada uno de nosotros 2.