

INTERACCIÓN ENTRE VEGETACIÓN, EROSIÓN Y DESERTIFICACIÓN

Francisco LÓPEZ BERMÚDEZ

Departamento de Geografía, Universidad de Murcia.

RESUMEN

Los ecosistemas áridos y semiáridos son los más sensibles a la desertificación y al cambio global el cual implica variaciones climáticas y en el uso del suelo. En estos ambientes, la presión humana y la variabilidad climática afectan a la vegetación en un sistema de relaciones de transición, unas veces hacia la estabilidad, otras hacia cambios que pueden ser dramáticos. La vegetación es un buen indicador de la progresión o estabilización de los procesos de erosión del suelo y de la desertificación. La vegetación controla la actividad del proceso erosivo. Los cambios en la cubierta vegetal y la ausencia o baja densidad de cobertura, escasamente protectora del suelo, tanto en laderas con vegetación natural, como en zonas de agricultura de secano, constituyen un destacado factor que favorece la erosión del suelo y la desertificación. Las relaciones entre clima-vegetación-erosión-desertificación, son complejas; la respuesta de la vegetación a la pérdida de suelo y al mecanismo desertificador es diferente si es debida a factores físicos o a factores antrópicos, sin embargo, discriminar la importancia de unos y otros es difícil.

Palabras clave: cobertura vegetal, erosión del suelo, desertificación, cambio climático

ABSTRACT

The arid and semi-arid ecosystems are more sensitive to desertification and the global change which implies climatic variations and the soil use. In these environments, the human pressure and the climate variability affecting the vegetation in a system of transition relations, sometimes toward stability, other

toward changes that can be dramatic. The vegetation is a good indicator of the progression or stabilization of the processes of soil erosion and desertification. The vegetation controls the activity of the process eroding. The changes in the vegetation cover and the absence or low-density of coverage, sparsely protective of the soil, both in hillsides with natural vegetation, as in areas of rain-fed agriculture, constitute a prominent factor favoring the soil erosion and desertification. Relations between climate-vegetation-erosion-desertification are complex; the response of the vegetation to the soil loss and to the desertification mechanism is different if it is due to physical factors or to anthropic factors, however, discriminate the importance of ones and others is difficult.

Key words: vegetation cover, soil erosion, desertification, climate change.

1. INTRODUCCIÓN

Suelo, agua y vegetación son recursos patrimoniales imprescindibles de la sostenibilidad global, son el centro de los ecosistemas y recursos vitales para la calidad de vida. El suelo productivo es el fundamento de la vegetación y de la agricultura, sin ellas, no puede haber desarrollo durable. La alteración y degradación del suelo y cobertura vegetal, bajo condiciones más o menos acusadas de estrés hídrico, predominantes en el territorio español son, con frecuencia, irreversibles y de graves consecuencias para el medio natural a causa de la erosión. Por ello, en los valores y protección del suelo y la vegetación, se asienta uno de los pilares fundamentales del desarrollo sostenible (Fig.1). En su adecuado uso y gestión puede encontrarse la clave para una aceptable calidad de vida de la sociedad actual y futura.

La erosión del suelo es un fenómeno natural complejo, dependiente de factores climáticos, litológicos, topográficos, edáficos, hidrológicos y biogeográficos. Se expresa en términos de balances expresados en geoformas mayores (cárcavas, barrancos, etc), en modelados de escala más reducida (incisiones, surcos, regueros), y en diversos tipos de depósitos; todos ellos traducen una historia compleja de

amplia variación, desde los dilatados tiempos geológicos a tiempos más cortos y recientes. Pero la erosión es también un hecho humano, social, cuya importancia se ha ido acrecentando por la presión demográfica sobre la cobertura vegetal y con el desarrollo y mala utilización de la tecnología.

Los ecosistemas secos son los más sensibles a la erosión, a la desertificación y al cambio global, el cual implica variaciones climáticas, alteraciones de la vegetación y cambios en los usos del suelo (ALBALADEJO *et al.*, 1998; PUIGDEFÁBREGAS, 1998; ALADOS *et al.*, 2005). En estos ambientes, la variabilidad climática y la presión humana afectan a la cobertura vegetal en un sistema de transición, unas veces hacia la estabilidad, otras a cambios más dramáticos.

La vegetación es un buen indicador de cambio climático y de la progresión o estabilización de los procesos de erosión del suelo y de la desertificación. Sin embargo, las relaciones entre vegetación-erosión-desertificación son complejas. La respuesta de la vegetación a la pérdida de suelo y al mecanismo desertificador es diferente si es debida a factores biofísicos o a factores antrópicos. Los efectos del clima y la actividad humana afectan a los ecosistemas lo cual implica continuas o discontinuas transiciones hacia su estabilidad o inestabilidad. Para los ecosistemas terrestres de las zonas áridas mediterráneas, se ha estudiado como los cambios en las formas de distribución de la vegetación a causa de diferentes presiones de pastoreo, podría ser utilizada como indicadoras de la desertificación (ALADOS, *et al.*, 2004; KÉFI *et al.*, 2007) y también como intervienen los patrones de la distribución de la vegetación en los arroyamientos y flujos de sedimentos, y las implicaciones geomorfológicas que tiene la distribución de la vegetación en diversas geometrías. La generación de escorrentía y la erosión del suelo se producen en los claros de vegetación, mientras las manchas de matorral frenan su velocidad y favorecen la sedimentación, contribuyendo a la discontinuidad de los flujos de agua y sedimento en la ladera (PUIGDEFÁBREGAS y SÁNCHEZ, 1996; PUIGDEFÁBREGAS, 2005; BOER y PUIGDEFÁBREGAS, 2005). Por otro lado, se constata que las comunidades vegetales sometidas a fuertes procesos erosivos, registran un claro descenso en la cobertura vegetal, alteraciones en los patrones de vegetación y en su composición florística (GUERRERO CAMPO, 2005).



Fig.1. La cobertura vegetal es el más importante factor para la protección del suelo y un valioso recurso de la biodiversidad. Sierra de Enguera (Valencia).

La dinámica de la vegetación como indicador climático y del proceso de la desertificación ha sido estudiada por GILABERT *et al.*, 1999. Estos autores llevaron a cabo un análisis de la evolución de la vegetación natural y su correlación con los parámetros climáticos en la Cuenca del río Guadalentín (Sureste de España), utilizando imágenes Landsat-5 TM. Los resultados ponen de manifiesto que las coberturas de matorral disperso, romero y hierbas estacionales son muy sensibles a la precipitación, mientras que el bosque de pino mediterráneo y el esparto presentan una fuerte resistencia a la sequía. Otros investigadores han diseñado un sistema de alerta temprana de la desertificación basado en la vegetación, en la simulación de la distribución espacial de la vegetación y su grado de degradación, actual y potencial, según distintos índices de aridez, diferentes usos del suelo e intensidad del pastoreo.

(KÉFI *et al.*, 2007). El modelo simula el cambio de uso del suelo y cambio climático, y como responde la vegetación. Un cambio en la distribución espacial de la vegetación es un indicador de una situación de estrés, de cambio climático. Cambio que está asociado a la desaparición de especies y, con ello, al inicio del mecanismo de la desertificación.

2. LA FUNCIÓN PROTECTORA DE LA VEGETACIÓN

La cubierta vegetal constituye un factor clave en la degradación del suelo, en la detección de la erosión (BORONAT *et al.*, 1983) y un importante indicador de la desertificación. La vegetación desempeña una función fundamental en la protección de la superficie del suelo al reducir el impacto de las gotas de lluvias y, por tanto limita el efecto de salpicadura y arranque de partículas (*splash*) que son fácilmente arrastradas por el arroyamiento superficial. Como factor decisivo del ciclo hidrológico retarda y reduce las escorrentías que llegan a los cauces, disminuyendo las aportaciones en superficie y aumentando la dotación de agua en el suelo y las subterráneas por infiltración. Incrementa el contenido de materia orgánica en el suelo, interviene en la estabilidad de los agregados del suelo y en la conductividad hidráulica. Bajo condiciones áridas, semiáridas y subhúmedas secas mediterráneas, donde el agua es un importante factor limitante, la vegetación desarrolla estrategias para interceptar la lluvia amortiguando y disminuyendo la intensidad de las precipitaciones, maximizando la humedad contenida en el suelo y evitando o disminuyendo la erosión del suelo. Buenos ejemplos de morfologías de matorrales adaptadas a ambientes de aridez son, entre otras especies mediterráneas el esparto (*Stipa tenacísima*), albaida (*Anthyllis cytisoides*), tomillo (*Thymus vulgaris*), enebro (*Juniperus oxycedrus*), romero (*Rosmarinus officinalis*), retama (*Retama sphaerocarpa*), aliaga (*Genista scorpius*), espino negro (*Rhamnus lycioides*), palmito (*Chamaerops humilis*), etc.

La mayor parte de los estudios realizados en España sobre la función de la vegetación en el control de la erosión del suelo confirman la existencia de suelos más profundos bajo cubierta vegetal densa, una mayor infiltración, hidrogramas de

crecida menos acusados, menor carga sedimentaria en los cursos fluviales y la gran importancia de la interceptación en el balance hidrológico de los ambientes mediterráneos. Bajo condiciones semiáridas mediterráneas en el Sureste español, BELMONTE SERRATO y ROMERO DÍAZ (1994), por un lado, estimaron que el pinar intercepta entre el 13 y el 24% de la precipitación, mientras que el romero retiene entre el 15 y el 19% y el enebro entre el 25 y el 30%. Por otro, BELMONTE SERRATO *et al.*, (1999), evaluaron el óptimo de cobertura en función de las pérdidas de suelo por erosión y el porcentaje de lluvia interceptada en matorral (romeral). Se utilizó el promedio anual de nueve años de muestreo en parcelas de erosión con tres intervalos de cobertura: 8 %, 30 % y 70 % en ladera con 11 % de pendiente; y con coberturas de 5%, 10%, 60% y 70% en parcelas con un 25 % de pendiente. En ellos se establecieron los valores de erosión respecto de los que se obtuvieron en parcelas testigo con suelo desnudo. Los resultados obtenidos expresan que en las parcelas con el 11 % de pendiente, el óptimo de cobertura vegetal se situaba en un 58 %, mientras que este porcentaje aumenta hasta el 64% en las parcelas con pendientes del 25 %. Por encima de estos valores, la lluvia interceptada pasa del 15 % al 26 %, mientras que la pérdida de suelo por erosión disminuye del 15 % al 5% de la obtenida en suelo desprovisto de vegetación. A partir de estos valores se entiende por qué FRANCIS y THORNES (1990) afirmaron que en ambientes semiáridos el matorral puede desempeñar un papel protector tan eficaz o más que el bosque. Valores superiores al 20% fueron obtenidos por DOMINGO *et al.* (1998) en Rambla Honda (Almería) al estudiar la interceptación, trascolación y escorrentía cortical en *Anthyllis cytisoides* y *Retama sphaerocarpa*.

En la dehesa extremeña, MATEOS y SCHNABEL (1998) estudiaron la interceptación bajo cubierta de *Quercus rotundifolia* en la cuenca de Guadalperalón, con valores que oscilaron entre el 22,8 y el 36,5%. En los bosques de la vertiente norte del Moncayo, IBARRA y ECHEVERRÍA (2006) seleccionaron tres parcelas en distintos pisos bioclimáticos, desde 1100 a 1600 m de altitud. El pinar y el hayedo registraron valores similares de interceptación (23,2 y 24,5 %), y sensiblemente menor en el rebollar (11,7%). En la cuenca de Can Vila (Vallcebre, Alto Llobregat), LLORENS *et al.* (2003a, 2003b) han confirmado, mediante estudios experimentales y modelización, que existe una marcada reducción de la

escorrentía superficial cuando se pasa de un escenario dominado por pastos a otro dominado por bosque. Por último, SERRANO-MUELA *et al.* (2005, 2008) han obtenido valores de interceptación del 15, 19 y 16% bajo cubierta de pinar, hayedo y quejigal, respectivamente.

Más estudios, realizados en parcelas experimentales, han puesto de relieve el fuerte contraste existente entre áreas cubiertas de vegetación más o menos densa y áreas de suelo desnudo. Así, CASTILLO *et al.* (1997) y ALBALADEJO *et al.* (1998) compararon la escorrentía, la erosión y la evolución de las propiedades del suelo en dos parcelas, una con la vegetación original (matorral abierto con pinos) y la otra sin vegetación. Entre otros resultados, destaca el hecho de que la parcela desnuda presentó un 127% más de pérdida de suelo y una producción de escorrentía hasta 2,5 veces superior. Resultados aún más contundentes se obtuvieron en andisoles de Tenerife (PADRÓN *et al.*, 1998), donde compararon una parcela de suelo desnudo y labrado con otras dos cubiertas de pino y con matorral de sustitución. Mientras en la parcela desnuda el coeficiente de escorrentía llega al 10.6%, ninguna de las otras dos llega al 1%. En el caso de la erosión, la parcela desnuda registró una pérdida de 18.5 Mg ha⁻¹ año⁻¹, y las parcelas con vegetación de 0.1 y 0 Mg ha⁻¹ año⁻¹.

En otras instalaciones, también instrumentalizada, para el seguimiento y evaluación de los procesos ligados en el sistema precipitaciones-vegetación-generación de escorrentías-erosión del suelo, se han comparado diferentes rangos de cubierta vegetal, desde suelo casi desnudo hasta cubrimientos próximos al 100%. Así, GONZÁLEZ-HIDALGO *et al.* (1997) estudiaron la producción de sedimento en seis parcelas de La Violada (centro de la Depresión del Ebro), con una densidad de cubierta de *Rosmarinus officinalis* entre 0 y 100%, y otras cinco parcelas en María de Huerva, al sur de Zaragoza, con *Lygeum spartum* y líquenes, y una densidad de cubierta de hasta el 66%. El principal resultado fue la existencia de un descenso general de la erosión a medida que aumenta la densidad de la cubierta. Los resultados obtenidos por RUIZ-FLAÑO *et al.* (1992) apuntan en la misma dirección, al estudiar mediante microparcelas las consecuencias erosivas de diferentes cubiertas de matorral y pasto en el Pirineo aragonés. El matorral denso, con una

densidad del 100%, apenas produce escorrentía superficial y sedimento, de manera que puede considerarse completamente eficaz para el control de la erosión. Con densidades bajas de matorral la erosión se multiplica varias veces, aunque hay otros factores que también cuentan. Así, con una densidad de cubrimiento de sólo el 15% las pérdidas de suelo son relativamente moderadas, debido a la presencia en superficie de un elevado porcentaje de piedras que favorecen la infiltración. La pedregosidad es un indicador de agotamiento del material fino del suelo por haber sufrido una intensa erosión anterior.

La función positiva del matorral denso también ha sido constatado en muchos otros estudios, como los realizados por MOLINA *et al.* (1999) en las provincias de Valencia y Alicante, CERDÁ (2005a, 2005b) entre otros. De igual forma, por estudios de hidrología superficial y otros mediante lluvia simulada en cinco áreas diferentes de la cuenca de Guadalperalón (Cáceres), SCHNABEL y MATEOS RODRÍGUEZ, (2000) y CEBALLOS *et al.* (2002), concluyeron, por un lado, que la generación de escorrentía se halla relacionada con las unidades edafo-vegetales existentes, coeficientes de escorrentía bajos se observan bajo las copas de los árboles y en las zonas de pastizal, mientras que los suelos poco profundos y degradados generan coeficientes de escorrentía altos. Por otro, que las superficies cubiertas de hierba y matorral son las que producen tasas más bajas de erosión, inferiores incluso a las áreas cubiertas por alcornoques debido al carácter hidrofóbico de los suelos.

Por otro lado, la vegetación ocasiona una fuerte disminución de la velocidad de desplazamiento de la escorrentía superficial con el consiguiente retraso en el tiempo de concentración en los cauces, reduciendo los caudales punta de la descarga y impidiendo o reduciendo la pérdida de suelo. Además, la transpiración de las plantas regula la tasa de humedad del suelo. La vegetación constituye, pues, un factor de respuesta fundamental ante las precipitaciones (DOMINGO *et al.*, 1991,1998; PUIGDEFÁBREGAS *et al.*, 1996; BELMONTE SERRATO y ROMERO DÍAZ, 1998; BELMONTE SERRATO *et al.*, 1999; PASCUAL AGUILAR, 2002). Muchos autores han demostrado, en un amplio rango de ambientes, que la generación de escorrentías, la pérdida de suelo y el transporte de sedimentos disminuyen, exponencialmente, cuando el porcentaje de la cobertura vegetal se incrementa. Una

cobertura vegetal del 40 % es considerada como crítica (DIS4ME, 2004), por debajo de la cual la erosión se convierte en un importante mecanismo de degradación en laderas en pendiente. Este umbral puede ser modificado por diferentes tipos de vegetación, intensidad de la lluvia y por las diversas propiedades del suelo. En el caso de cubierta vegetal pobre, los procesos erosivos pueden ser muy activos y, la regeneración de la vegetación natural suele ser irreversible.

3. LA RELACIÓN VEGETACIÓN Y EROSIÓN DEL SUELO.

La erosión del suelo es una crisis ambiental que se desarrolla de manera, frecuentemente imperceptible, que socava la seguridad alimentaria y económica de muchas regiones y países. Si los factores ligados a las condiciones ambientales naturales son el origen de la erosión, los factores agro-socio-económicos, son los que aceleran el proceso. El ser humano, puede favorecer que las tasas de “erosión natural” se incrementen hasta valores no sostenibles, se trata entonces de la “erosión antrópica” o “erosión acelerada”.

En las últimas décadas, los procesos de erosión del suelo y de desertificación han alcanzado gran notoriedad científica por las repercusiones ambientales, económicas y sociales que tienen, especialmente, en las regiones áridas, semiáridas y subhúmedas secas. Este interés ha propiciado un gran esfuerzo para conocer las causas y factores de la erosión del suelo y de la desertificación, así como la destacada función que desempeña la cubierta vegetal en ambos fenómenos. Y, a la vez, de que modo influye la erosión sobre la vegetación, las especies de plantas y sus características (GUERRERO CAMPOS, 2005).

Es ampliamente aceptado, como se ha comprobado en el epígrafe precedente, que el factor que proporciona la mayor protección del suelo es la vegetación, de modo que el aumento de la cobertura vegetal determina una disminución de la tasa de pérdida de suelo. Sin embargo, la relación erosión-vegetación tiene un comportamiento complejo, diversos estudios han detectado mecanismos de retroalimentación modelizando los factores por los que erosión y vegetación interactúan,

competitivamente, por el suelo (THORNES, 1990; KIRKBY *et al.*, 1990; THORNES and BRANDT, 1994; GUERRERO CAMPOS, 2005).

Entre los factores que mejor explican la organización espacial de la erosión del suelo, la vegetación se ha considerado como el más importante. Así, la deforestación y la sustitución de bosques por cultivos o pastos y las roturaciones de tierras marginales ha conducido a un aumento espectacular de la producción de sedimento, con surcos, cárcavas y deslizamientos superficiales que han incrementado la carga en suspensión de los cursos de agua (Fig.2)



Fig.2. La eliminación de la cobertura vegetal en áreas muy sensibles a la erosión por la naturaleza de sus litologías y suelos, y por hallarse bajo condiciones pluviométricas de alta energía, conduce a paisajes intensamente erosionados, desertificados. Cuenca del río Chícamo (Abanilla, Murcia)

En el ámbito mediterráneo esto es bien evidente dada la larga historia deforestadora relacionada con los cambios políticos y culturales, y con la fuerte presión que han ejercido tanto la agricultura como la ganadería en un contexto de crecimiento demográfico (KEPNER *et al.*, 2006; LÓPEZ BERMÚDEZ y GARCÍA GÓMEZ, 2006).

Cuadro 1. Tasas de erosión del suelo bajo diversos usos del suelo

<u>Uso del suelo</u>	<u>Pérdida de suelo en t/ha/año</u>	
	<u>Min.</u>	<u>Máx.</u>
Áreas de matorral	0,08	12,07
En áreas con regueros	4,00	53,00
Áreas abarrancadas y de cárcavas	12,0	150,00
En áreas forestadas	0,60	84,00
En dehesas	0,23	39,05
En áreas de pastos	0,23	53,20
En áreas de regadío tradicional (huertas)	0,03	0,40
Campos abandonados	1,80	32,00
Campos de cultivo	1,84	25,60
Campos labrados	0,17	6,00
Campos en barbecho	7,30	10,40
Montes incendiados	0,30	40,70
Suelo desnudo	17,00	180,00
Obtenidas por batimetrías en embalses	2,11	80,40
Taludes de carretera	23,30	25,00

Fuente: RESEL, 2006; SOLÉ, 2006; CERDÁ, 2005C; LÓPEZ BERMÚDEZ, 2008, ROJO SERRANO, 2008.

La existencia de archivos sedimentarios de larga duración (sedimentos acumulados en lagos, turberas, depósitos fluviales) ha aportado información muy valiosa para entender las relaciones entre los cambios de cubierta vegetal y la erosión (AIRA *et*

al., 1992; JALUT *et al.*, 1992; MARTÍNEZ CORTIZAS *et al.*, 2000; RUIZ ZAPATA *et al.*, 2000; RIVAS CARBALLO *et al.*, 2003; GONZÁLEZ-SAMPÉRIZ *et al.*, 2004; PONTEVEDRA POMBAL y MARTÍNEZ CORTIZAS, 2004). El análisis de los datos disponibles, en España, reflejan la amplia variación en las tasas de erosión estrechamente ligadas a la variedad de métodos usados, tipo y tamaño de las cuencas y parcelas utilizadas, períodos de evaluación, etc. El *Cuadro 1* expresa las tasas de erosión bajo diversos estados y usos del suelo en España. Como puede constatar, las pérdidas de suelo dependen de un amplio conjunto de factores, entre los que destacan las condiciones biofísicas y los usos del suelo. Las tasas y variabilidad de las pérdidas de suelo son muy amplias, sobre todo en los suelos con uso agrícola y en aquellos cubiertos por una vegetación natural. En suelo desnudo y en áreas de cárcavas, sin la protección de una cobertura vegetal, los valores estimados son los que registran las mayores pérdidas.

En conclusión, la vegetación controla la actividad de los procesos de erosión, su degradación suele desencadenar, sobre todo en ecosistemas que registran fuerte tensión hídrica, importantes pérdidas de suelo que constituyen inequívocas señales de desertificación. La evaluación de la calidad de la cubierta vegetal, la resistencia a fenómenos adversos (sequía, erosión, incendios...) y la intensidad de uso agrícola, es fundamental para definir la vulnerabilidad a la desertificación.

4. LA RELACIÓN VEGETACIÓN Y DESERTIFICACIÓN

La cobertura vegetal es un factor fundamental en la degradación de la tierra. Su deterioro o reducción es considerada como un importante indicador de la desertificación. La vegetación, como se ha expuesto más atrás, desempeña un destacado papel en la protección del suelo por el impacto de la gotas de lluvia, en la incorporación de materia orgánica, en la estabilidad de los agregados del suelo, en la capacidad de retención de agua, en la conductividad hidráulica, en retardar y reducir la fracción de agua que escurre por la superficie del suelo (escorrentía), etc. Son muchos los autores que han demostrado, en un amplio abanico de condiciones

ambientales que, el arroyamiento, remoción de sedimentos y erosión del suelo disminuyen cuando el porcentaje de cobertura vegetal se incrementa.

La erosión es un proceso de degradación del recurso suelo y, a la vez, un síntoma de la desertificación, pero no el único, ya que son muchos otros los mecanismos que conducen a la degradación de los ecosistemas, de los recursos básicos suelo, agua y vegetación. Por otro lado, la pérdida de cobertura vegetal, mejor, de biodiversidad, la desertificación y el cambio climático están estrechamente interrelacionados (Fig. 3). En la actualidad, se los considera como los problemas ambientales más severos que amenazan a las tierras secas. La desertificación implica el empobrecimiento y degradación de los ecosistemas terrestres por sobreexplotación uso y gestión inapropiados en territorios fragilizados por las sequías y la aridez. Las causas hay que buscarlas en la acción sinérgica de un conjunto de procesos climáticos, geomorfológicos y antrópicos difíciles de frenar que refuerza o amplifica mecanismos naturales a causa de la intervención humana (LÓPEZ BERMÚDEZ, 1995, 2001).

La desertificación esconde un conjunto de procesos interrelacionados (físicos, biológicos, económicos, históricos, sociales, culturales y políticos) que se manifiestan a diferentes niveles de resolución, tanto espacial como temporal. El término viene siendo utilizado en los ámbitos científicos, políticos, popular y por los medios de comunicación, desde los años setenta de la pasada centuria, porque el proceso que encierra es considerado como uno de los problemas más graves que afectan a las regiones secas del planeta, por sus implicaciones ambientales y socioeconómicas. Implica la pérdida de productividad y de complejidad biológica y económica de los ecosistemas. La definición internacional de desertificación fue aprobada por la Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación (Paris, 1994), como *la degradación de las tierras en zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas resultante de diversos factores, tales como las variaciones climáticas y las actividades humanas* (UNCCD, 1994), estadio final de un conjunto de procesos que hacen perder a los ecosistemas su valor y funciones.

La desertificación es un síntoma de un mal fundamental: la ruptura del equilibrio entre el sistema de recursos naturales básicos y el sistema socio-económico que los explota (PUIGDEFABREGAS, 1995; PUIGDEFABREGAS y MENDIZÁBAL, 1998; LÓPEZ BERMÚDEZ, 2002,2006). La aridez, las sequías, las fluctuaciones climáticas, por sí solas, no bastan para explicar el fenómeno de la desertificación.

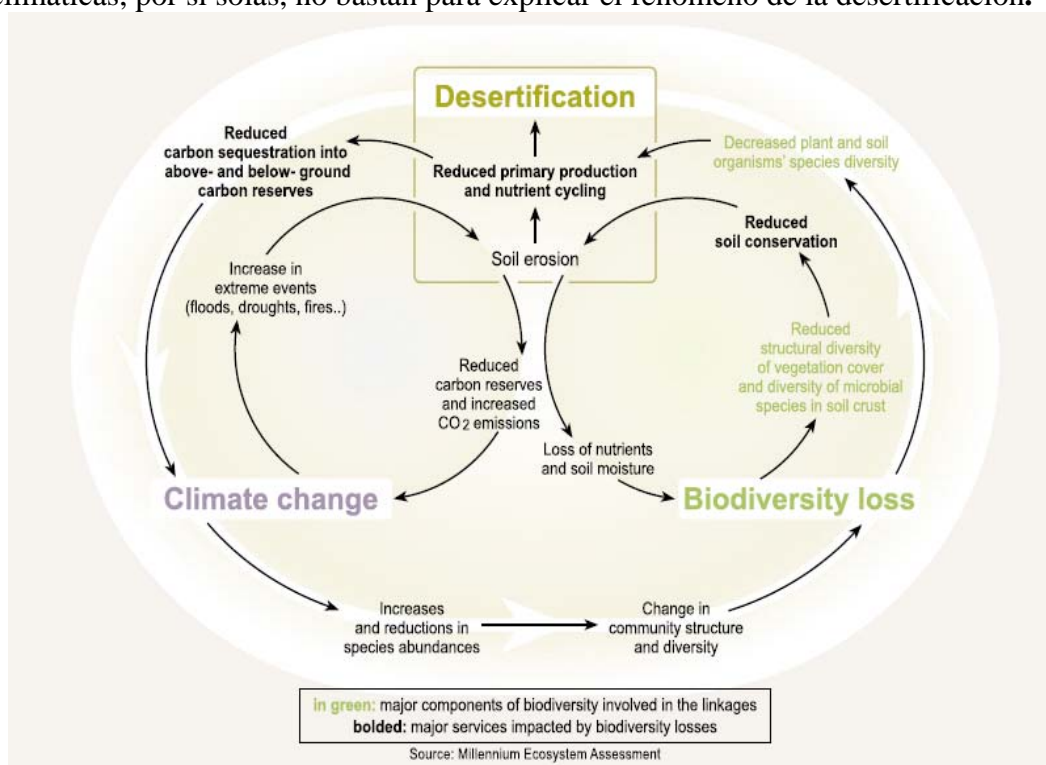


Fig. 3. Interrelación y retroalimentación entre desertificación, cambio climático y pérdida de biodiversidad (Fuente: Millenium Ecosystem Assessment, 2005)

La importancia de la degradación se deduce de la importancia del recurso que se deteriora, en este caso los ecosistemas mediterráneos y sus componentes básicos, suelo, agua y vegetación. Los ecosistemas son sistemas abiertos, complejos y dinámicos, compuestos de muchas partes que interactúan e intercambian información entre sus

componentes (ODUM, 1969; JORGENSEN, 2000). La perturbación que en ellos se puede producir, altera la dinámica de las especies que los componen y mueve el ecosistema fuera de su estado de equilibrio, donde el sistema puede volver después, si cesa la perturbación, en función del nivel de resiliencia (SHEFFER, 1998), si bien, el nuevo estado de equilibrio será, energéticamente, menos eficiente que el que ha evolucionado a lo largo de un tiempo evolutivo (EMLEN *et al.*, 1998). De ahí se desprende la importancia que las intervenciones humanas tienen en su manejo. Quiere esto decir, que los ecosistemas, en este caso, los mediterráneos, han demostrado gran resiliencia y casi siempre podrán recuperarse después de períodos secos, siempre que no hayan sido excesivamente mal manejados.

La intervención humana sobre el medio biofísico, presenta dos aspectos básicos: geomorfológico y biológico. La intervención en los mecanismos geomorfológicos la realiza alterando relieves, modificando pendientes, con cambios hidrológicos, acelerando procesos erosivos, etc., es la *huella geomorfológica humana* que en los paisajes mediterráneos, se ha intensificado en las últimas cinco o seis décadas. El hombre interfirió en los procesos biológicos originales desde el principio de la colonización, transformándolos y creando otros nuevos adaptados, más o menos, a las condiciones climáticas, topográficas, edáficas y a sus intereses económicos. La labor humana en los ecosistemas, en la cobertura vegetal natural, desencadena, casi siempre, una perturbación en el equilibrio natural, tanto más acentuada cuanto más frágil o vulnerable sea este equilibrio.

En el medio mediterráneo, la coincidencia entre la estación seca y la estación cálida, que caracteriza su clima, obliga a la vegetación a una adaptación tanto más difícil cuanto más intensos son el calor y la sequía. Las plantas mediterráneas han adaptado, más o menos, caracteres xerofíticos y esclerófilos, con propiedades tales como el recubrimiento de las hojas por una cutícula, que reduce la transpiración a mínimos, en los momentos en que la sequía es más acusada. Otras plantas xerófilas, como muchas labiadas, gramíneas y cistáceas, marchitan sus hojas blandas en el período seco, hidratándose cuando aumenta la humedad. Otras veces presentan formas particulares que sólo permiten una transpiración mínima, como las hojas aciculares, o adquieren un

tamaño pequeño como las de los enebros o retamas, por lo que la planta queda prácticamente sin superficie transpirante.

Las formaciones vegetales son, a menudo, abiertas. La cubierta vegetal, en conjunto, es escasa, por lo que los suelos quedan expuestos a los procesos de erosión, en particular a la erosión hídrica. A esta fisionomía del paisaje vegetal mediterráneo no es ajeno el hombre, ya que las regiones mediterráneas, como pocas en el mundo, soportan el peso de una dilatada historia. Desde muy temprano estuvieron sometidas a una explotación sin grandes reparos. Su degradación viene de muchos siglos atrás. Varios hechos son especialmente destacables, los cambios de uso para la extensión de la agricultura, para la ganadería extensiva, los incendios, etc., todos tienen de común sus significativos efectos en la degradación del suelo y en la cubierta vegetal, cuando se practican de modo inadecuado o excesivo.

La expansión e intensificación de la agricultura está dando lugar a un incremento en la degradación de los ecosistemas (PUIGDEFÁBREGAS y MENDIZÁBAL, 1998), paradójicamente, cuando al mismo tiempo se registra un abandono de las zonas rurales menos favorecidas. Este despoblamiento, en muchos casos, está propiciando la recuperación de la vegetación, sin embargo, en las áreas más secas, en donde los suelos están erosionados y con escasos nutrientes, la recuperación es difícil o nula. La migración rural del campo español ha ocasionado el abandono de la tierra, la pérdida de buenos y seculares sistemas de conservación del suelo, la frecuencia y extensión de los incendios, la pérdida de sistemas agro-pastorales tradicionales y la práctica de la trashumancia que era el mecanismo de adaptarse a la disponibilidad de alimento para el ganado manteniendo un equilibrio entre la producción y el consumo de hierba. La concentración del pastoreo en zonas marginales, donde la producción de pastos es baja y con fuerte variabilidad estacional y anual, ha hecho que la conservación de los ecosistemas, en tales circunstancias, sea difícil por la interacción de la presión del pastoreo, las condiciones climáticas y las características edáficas (MILCHUNAS y LAUENROTH, 1993).

La secular acción antrópica sobre los ecosistemas ha sido un factor desestabilizador muy importante que ha acarreado una alteración y deterioro de millones de hectáreas

de paisajes naturales que, con el tiempo se ha ido acelerando. No obstante, los ecosistemas mediterráneos todavía conservan una diversidad multifuncional de altos valores botánicos, ecológicos y culturales por lo que han de preservarse.



*Fig. 4. La deforestación de la cobertura vegetal en ladera en pendiente, ocasiona una intensa erosión del suelo y repercute, seriamente, en el potencial productivo del ecosistema y lo hace cada vez más vulnerables a los procesos de desertificación. Es el caso, por ejemplo, de la supresión del bosque del roble melojo (*Quercus pyrenaica* Hill). Tragacete. Cuenca*

Medidas de conservación de los ecosistemas contribuyen, eficazmente, a la prevención de la desertificación. La desertificación es una patología originada por los humanos que degrada el suelo y la cobertura vegetal y que puede alcanzar umbrales irreversibles para su recuperación (Fig.4). Afecta, severamente, al potencial biológico de los ecosistemas para producir alimentos y otros servicios, de los

territorios secos. La superficie agrícola de estos territorios es limitada y está amenazada por múltiples factores de degradación. Si la desertificación y el cambio climático afectan negativamente a la vegetación y a los rendimientos agrícolas, la conclusión es que se puede estar abocado a una situación crónica de falta de alimentos ante una población mundial en crecimiento. Prevenir el cambio climático, luchar contra la pérdida de biodiversidad, combatir la desertificación, disponer de tecnologías que permitan mantener los rendimientos de las tierras, son medidas para afrontar el futuro sin incertidumbre. El debate y la búsqueda de soluciones son complejos y no exentos de dificultades de carácter político, económico y social, pero la lucha por un desarrollo durable son una prioridad

5. CONCLUSIONES

Las tierras secas del planeta, extensas áreas de las mediterráneas y de España, se hallan sometidas a un alto riesgo por la erosión del suelo, por la degradación de la cobertura vegetal en extensas áreas, por la desertificación y el cambio climático. Estos procesos son problemas ambientales, ecológicos, económicos y sociales de enorme importancia para un desarrollo durable ya que colapsan la biodiversidad, pueden incrementar la frecuencia de sequías y acelerar la degradación de ecosistemas y agrosistemas. Como factores relevantes de la degradación de suelo y cobertura vegetal, que pueden inducir a un proceso complejo y grave como es la desertificación destacan:

(a) La erosión hídrica, proceso de remoción y transporte del suelo por la acción del agua, sobre todo de sus horizontes superiores o capa arable. Este fenómeno se acelera cuando la cobertura vegetal es perturbada por las actividades humanas como son la práctica de técnicas agrarias inadecuadas, roturaciones de áreas de bosque y matorral, deforestaciones, incendios provocados, cambios de uso del suelo, etc.

(b) La vegetación es la cobertura más eficaz de protección del suelo frente a las lluvias de alta intensidad y escorrentías que generan. Su degradación y desaparición

dejan al suelo desnudo y vulnerable frente a la acción de los acontecimientos meteorológicos extremos.

(c) La roturación de tierras marginales, con frecuencia llevada a cabo, en diversas épocas históricas por presión demográfica u otros motivos, para extender los cultivos a tierras de ladera sin vocación agrícola, ha ocasionado importantes pérdidas de vegetación y suelo.

(d) El sobrepastoreo, la introducción de más cabezas de ganado de las que un ecosistema puede soportar, puede conducir a una pérdida de variedad de la vegetación herbácea, a su degradación, e incluso a la desaparición de plantas herbáceas y leñosas que puede desembocar en una erosión acelerada e inicio del proceso desertificador.

Finalmente, la complejidad de los fenómenos degradación de la cobertura vegetal, erosión del suelo, desertificación y cambio climático, requiere aproximaciones globales y obliga afrontar su estudio con una perspectiva más integrada en el marco de un sistema de cambios globales en el que las interrelaciones entre causas y respuestas suelen ser estrechas.

6. REFERENCIAS

AIRA, M.J., SAA, P., LÓPEZ, P., (1992). *Cambios del paisaje durante el Holoceno: análisis de polen en turberas (Galicia, España)*. *Revue Paléobiologie* 11, 243-254.

ALADOS, C.L., EL AICH, A., PAPANASTASIS, V., OZBEK, H., FREITAS, H., (2005). *Monitoring tools to assess vegetation successional regression and predict catastrophic shifts and desertification in Mediterranean rangelands ecosystems*. In W. Kepner, J.L. Rubio, D. Mouat, F. Pedrazzini, Eds. *Desertification in the Mediterranean Region. A Security Issue*. NATO Security Through Sciences Series, Vol.3. Springer Verlag, Germany. 431-449.

ALADOS, C.L., EL AICH, A., PAPANASTASIS, V., OZBEK, H., FREITAS, H., VRAHNAKIS, M., LARROSSI, D., CABEZUDO, B.(2004). *Change in plant spatial patterns and diversity along the sucesional gradient of Mediterranean grazing ecosystems*. Ecol. Modell, 180, 523-535.

ALBALADEJO, J., MARTÍNEZ-MENA, M., ROLDAN, A., CASTILLO, V. (1998). *Soil degradation and desertification induced by vegetation removal in a semiarid environment*. Soil Use and Management, 14, 1-5.

BELMONTE SERRATO, F., ROMERO DÍAZ, A. (1994). *Distribución de flujos de agua en el proceso de interceptación en cuatro especies vegetales mediterráneas y su relación con la cantidad de agua disponible en el suelo*. En: Geomorfología en España. Arnáez, J., García Ruiz, J.M., Gómez Villar, A. (Eds). S. E. G., Logroño: 201-210.

BELMONTE SERRATO, F., ROMERO DÍAZ, A. (1998). *La cubierta vegetal en las regiones áridas y semiáridas: consecuencias de la interceptación de la lluvia en la protección del suelo y los recursos hídricos*. Norba Geográfica, 10, 9-22.

BELMONTE SERRATO, F., ROMERO DÍAZ, M.A., LÓPEZ BERMÚDEZ, F., HERNÁNDEZ LAGUNA, E. (1999). *Óptimo 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

BOER, M., PUIGDEFABREGAS, J. (2005). Effects of spatially structured vegetation patterns on hillslope erosion in a semiarid Mediterranean environment: a simulation study. *Earth Surface Processes and Landforms*, 30, 149-167.

BORONAT, J., ESCARRÉ, A., LLEDO, M.J. (1983). *Influencia de la vegetación en la detección de la erosión en la comarca de Alicante*. En Hombre y medio natural en Alicante. Alicante, 43-56.

CALVO CASES, A. (2006). *Análisis y cuantificación de los procesos erosivos*. En L.Rojo, M .Sánchez Fuster, A.Calvo Cases (eds): *La red de estaciones experimentales de seguimiento de la erosión y desertificación. Actividades y resultados* (1995-2004). Dirección General para la Biodiversidad. Ministerio de Medio Ambiente (documento no publicado).

CASTILLO,V., MARTINEZ-MENA,M., ALBALADEJO,J. (1997). *Runoff and soil loss response to vegetation removal in semiarid environment*. Soil Science Society of America Journal 61:1116-1121

CEBALLOS, A., CERDÀ, A., SCHNABEL, S. (2002). *Runoff Production and Erosion Processes on a Dehesa in Western Spain, a Field Rainfall Simulation Approach*. Geographical Review, 92 (3), 333-353.

CERDÀ, A. (2005a). *El matorral como protector del suelo. Estación experimental de El Teurallet-Sierra de Enguera, Valencia*. En Jiménez Ballesta y A.M, Alvarez González (eds), Control de la degradación de los suelos, 63-68

CERDÀ, A. (2005b). *Influence of vegetation recovery on soil hydrology and erodibility following fire: an 11 year investigation*. International Journal of Wildland Fire, 14 (4), 423-437

CERDÀ, A (2005c). *La erosión del suelo y sus tasas en España*. Ecosistemas, 3, 12 pp

DIS4ME, (2004). *Desertification Indicators System for Mediterranean Europe*. DESERTLINK project. European Commission, Framework Programme 5. Contract EVK2-CT-“001-00109. <http://www.kcl.ac.uk/project/desertlinks>

DOMINGO, F., SÁNCHEZ, G., MORO, M.J., BRENNER, A.J., PUIGDEFÁBREGAS, J.(1998). *Measurement and modelling of rainfall interception by three semi-arid canopies*. Agricultural and Forest Meteorology, 91, 275-292.

- DOMINGO, F., PUIGDEFÁBREGAS, J., CLARK, S. C., INCOLL, L. D., LOCKWOOD, J. G. (1991). *Plant physiological behaviour in relation to water in a semiarid environment in Southeast Spain*. I.A.H.S public, 204, 335 - 343.
- FRANCIS, C.F., THORNES, J.B. (1990). *Runoff hydrographs from three mediterranean vegetation cover types*. In: Thornes, J. B. (eds.). *Vegetation and erosion*. John Wiley & Sons. Chichester, 363-384.
- GONZÁLEZ HIDALGO J.C., BELLOT, J. (1997). *Soil moisture changes under shrubs plant cover (Rosmarinus officinalis) and cleared shrubs as response to precipitation in a semiarid environment: stemflow effects*. *Arid Soil Research and Rehabilitation*, 11, 187-199.
- GONZÁLEZ_SAMPÉRIZ, P., GARCÍA-RUIZ, J.M., VALERO-GARCÉS, B., MARTÍ-BONO, C., (2004). *La turbera de El Portalet y su significado en la deglaciación del Pirineo*. En *Geografía Física de Aragón. Aspectos generales y temáticos*. Universidad de Zaragoza e Institución Fernando el Católico. Zaragoza: 85-94.
- GUERRERO CAMPO, J. (2005). *Efectos de la erosión del suelo sobre los patrones de la vegetación y su composición florística: una revisión bibliográfica*. *Mediterránea. Serie de Estudios Biológicos*. Época II, 18, 8-30.
- IBARRA BENLLOCH, P., ECHEVERRÍA ARNEDO, M.T., (2004). *Análisis de la entradas de agua en los bosques del Moncayo (Zaragoza, España)*. Aportaciones geográficas en Homenaje al Prof. A. Higuera Arnal. Dpto. de Geografía y Ordenación del Territorio. Universidad de Zaragoza, 205-213.
- IPCC, (2007). *Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático* [Equipo de redacción

principal: Pachauri, R.K. y Reisinger, A. (directores de la publicación)]. OMM, PNUMA, IPCC, Ginebra, Suiza, 104 pp.

JALUT, G, MONTSERRAT, J, FONTUGNE, M, DELIBRIAS, G, VILAPLANA, JULIÁ, R. (1992). *Glacial to Interglacial vegetation changes in the northern and southern Pyrenees: Deglaciation, vegetation cover and chronology*. Quaternary Science reviews, 11, 449-480.

KÉFI, S., RIETKERK, M., ALADOS, C.L., PUEYO, Y., PAPANASTASIS, P., ELAICH, A., RUITER, P.C. (2007). *Spatial vegetation patterns and imminent desertification in Mediterranean arid ecosystems*. Nature, 449, 213-217.

KIRKBY, M.J., ATKINSON, K., LOCKWOOD, (1990). *The Interaction of Erosional and Vegetation Dynamics in Land Degradation: Spatial Outcomes*. In J.B. Thornes, Ed. *Vegetation and Erosion. Processes and Environments*. John Wiley & Sons. Chichester: 25-39.

KEPNER, W., RUBIO, J.L., MOUAT, D., PEDRAZZINI, F. (Eds), (2007). *Desertification in the Mediterranean Region. A Security Issue*. NATO Security Through Sciences Series, Vol.3. Springer Verlag., Germany: 614 pp.

LÓPEZ BERMÚDEZ, F. (1995). *Desertificación: una amenaza para las tierras mediterráneas*. El Boletín, 20, 38-48. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid.

LÓPEZ BERMÚDEZ, F. (2001). *El riesgo de desertificación*. En *Agricultura y Desertificación*. F. Martín de Santa Olalla, Coord. Mundi-Prensa. Madrid, 15-38.

LÓPEZ BERMÚDEZ, F. (2002). *Erosión y Desertificación. Heridas de la Tierra*. Nivola, Libros y Ediciones. ISBN: 84-95599-37-6. Madrid., 190 pp.

LÓPEZ BERMÚDEZ, F., (2006). *Desertificación, un riesgo ambiental global de graves consecuencias*. Cuaternario y Geomorfología, 20 (3-4), 61-71.

LÓPEZ BERMÚDEZ, F. (2008). *Desertificación: Preguntas y respuestas a un desafío económico, social y ambiental*. Fundación Biodiversidad. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. Madrid, 131 pp.

LÓPEZ BERMÚDEZ, F., GARCIA GÓMEZ, J. (2006). *Desertification in the Arid and Semiarid Mediterranean Regions. A food Security Issue*. In W. Kepner, J.L. Rubio, D. Mouat, F., Pedrazzini, Eds. *Desertification in the Mediterranean Region. A Security Issue*. NATO Security Through Sciences Series, 3. Springer Verlag, Germany: 401-428.

LLORENS, P., POCH, R., LATRON, J., GALLART, F. (2003A). *Rainfall interception by a Pinus sylvestris forest patch overgrown in a Mediterranean mountainous abandoned area. I—Monitoring design and results down to the event scale*. J. Hydrol. 1993 (4), 331–345.

LLORENS P., LATRON J., GALLART F. (2003b). *Dinámica espacio-temporal de la humedad del suelo en un área de montaña Mediterránea. Cuencas experimentales de Vallcebre (Alto Llobregat)*. In J.Álvarez-Benedí and P. Marinero (Eds), *Estudios de la zona no saturada del suelo*, 6, 71-76.

MARTÍNEZ CORTIZAS, A., PONTEVEDRA POMBAL, X., NOVÓ MUÑOZ, J.C., GARCIA-RODEJA, E., (2000). *Turberas de montaña del Noroeste de la península Ibérica*. Edafología. 7, 1-29.

MILLENIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT, (2005). *Evaluación de los Ecosistemas del Milenio. Informe de Síntesis*. CCD, CBD, UNEP, UNDP, FAO, UNESCO, CMS, ICSU, IUCN. World Resources Institute, Washington, 43 pp.

MMA, (2007). *Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático*. Oficina Española de Cambio Climático. Secretaria General para la prevención de la contaminación y el cambio climático. Madrid, 59 pp.

MATEOS RODRÍGUEZ, A.B., SCHNABEL, S., (1998). *Medición de la interceptación de las precipitaciones por la encina (Quercus rotundifolia Lam): Metodología e instrumentalización*. Norba Geográfica, 10, 95-112.

MOLINA, M.J., LLIARES, J.V., SORIANO, M.D., (1999). *La degradación de las propiedades del suelo en dos sistemas agroforestales de la Comunidad Valenciana*. Geoforma Ediciones. Logroño, 83 pp.

PADRÓN, P.A., VARGAS, G.E. Y ORTEGA, M.J. (1998). *Preliminary data from erosion experimental plots of Andisols of Tenerife (Canary Islands)*. En: A. Rodríguez, C.C. Jiménez & M.L. Tejedor (Eds.), *The soil as a strategic resource: degradation processes and conservation measures*. Geoforma Ediciones, Logroño, 219-227.

PONTEVEDRA POMBAL, X., MARTÍNEZ CORTIZAS, A. (2004). *Turberas de Galicia: Procesos formativos, distribución y valor medioambiental. El caso particular de las "Serras septentrionais"*. Chiossa, 2, 103-121.

PUIGDEFÁBREGAS, J. (1995). *Desertification: Stress beyond resilience, exploring a unifying process structure*. Ambio, 24, 311-313.

PUIGDEFABREGAS, J. (1998). *Ecological impacts of global change on drylands and their implications on desertification*. Land Degradation and Rehabilitation, 9(5), 393-406.

PUIGDEFÁBREGAS, J. (2005). *The role of vegetation patterns in structuring runoff and sediment fluxes in drylands*. Earth Surface Processes and Landforms, 30, 133-147.

PUIGDEFÁBREGAS, J., ALONSO, J.M., DELGADO, L., DOMINGO, F., CUETO, M., GUTIÉRREZ, L.-, LÁZARO, R., NICOLAU, J.M., SÁNCHEZ, G., SOLÉ, A., TORRENTÓ, J.R., VIDAL, S., AGUILERA, C., BRENNER, A.J., CLARK, S.C. Y INCOLL, L.D. (1996). *The Rambla Honda field site: interactions*

of soil and vegetation along a catena in semi-arid SE Spain. En *Mediterranean desertification and land use* (J.B. Thornes & J. Brandt, eds.), Wiley, 137-168, New York.

PUIGDEFÁBREGAS, J., SÁNCHEZ, G. (1996). *Geomorphological implications of vegetation patchiness on semiarid interceptación slopes.* In M.G. Anderson & S.M. Brooks, Eds. *Advances in Hillslope Processes*, 2, 1027-1060.

PUIGDEFÁBREGAS, J., MENDIZÁBAL, T. (1998). *Perspectivas on desertification: western Mditerranean.* *Journal of Arid Environment*, 39, 209-224.

RESEL, (1996). *Red de Estaciones Experimentales de Seguimiento y Evaluación de la Erosión y Desertificación. Catálogo de estaciones.* L.Rojo, M.C. Sánchez Fuster, (eds). Dirección General de Conservación de la Naturaleza. Ministerio de Medio Ambiente, Madrid: 121 pp.

RIVAS CARBALLO, M.R., LUCINI,M., ORTIZ, J.E., TORRES, T., VALLE HERNÁNDEZ, M.F. (2003). *Interpretación paleoecológica y paleoclimática del tramo superior de la turbera de Padul (Granada, España) a partir de datos palinológicos.* *Polen*,13, 85-95.

ROJO SERRANO, L. (2008). *La Red de Estaciones Experimentales de seguimiento y evaluación de la erosión y la desertificación (RESEL).* En A. Cerdá, *Erosión y degradación del suelo agrícola en España.* Cátedra de Divulgación Científica, Universitat de València, 127-147.

RUIZ-FLAÑO P, GARCÍA-RUIZ JM, ORTIGOSA L. (1992). *Geomorphological evolution of abandoned fields.* A case study in the Central Pyrenees. *Catena*. 19, 301–308.

RUIZ ZAPATA, B., JIMÉNEZ SÁNCHEZ, M., GIL GARCÍA, M.J., DORADO VALIÑO, M., VALDEOMILLOS, A.,FARIAS, P. (2000). *Registro palinológico de*

un depósito postglaciar en el Parque Natural de Redes (Cordillera Cantábrica, Noroeste de España): Implicaciones paleoclimáticas. Geotemas, 1 (4), 279-283.

SCHNABEL, S., MATEOS RODRÍGUEZ, B. (2000). *Hidrología superficial en ambientes adeshados, Cuenca experimental Guadalperalón.* Cuadernos de Investigación Geográfica, 26, 113-130.

SERRANO MUELA, M.P., REGÜÉS, D., LATRON, J., MARTÍ BONO, C., LANA-RENAULT, N., NADAL ROMERO, E. (2005). *Respuesta hidrológica de una cuenca forestal en la montaña media pirenaica: el caso de San Salvador.* Cuadernos de Investigación Geográfica. Monográfico sobre hidrología forestal, XXXI, 59-76.

SERRANO-MUELA, M.P., LANA-RENAULT, N., NADAL-ROMERO, E., REGÜÉS, D., LATRON, J., MARTÍ-BONO, C., GARCÍA-RUIZ, J.M. (2008). *Forests and water resources in Mediterranean Mountains: The case of the Spanish Pyrenees.* Mountain Research and Development, 28/3.

SOLÉ, A. (2006). *Spain.* In *Soil Erosion in Europe.* J. Boardman y J. Poesen Eds. John Wiley & Sons. Chichester, 311-346.

THORNES, J.B., (Ed), (1990). *Vegetation and Erosion.* John Wiley & Sons. Chichester, 518 pp.

THORNES, J.B., BRANDT, J. (1994). *Erosion-vegetation competition in a stochastic environment undergoing climatic change.* In: A.C. Millington & K. Pye (Eds.). *Environmental change in drylands: biogeographical and geomorphological perspectives.* John Wiley & Sons. Chichester: 305-320.

UNCCD, (1994). *Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación en los países afectados por Sequía grave y/o Desertificación, en particular África.* Genève Executive Center, Suiza, 71 pp. (<http://www.unccd.int>).