

GESTIÓN AGRÍCOLA Y EROSIÓN DEL SUELO EN LA CUENCA DEL EBRO: EL ESTADO DE LA CUESTIÓN*

TEODORO LASANTA MARTÍNEZ¹

RESUMEN

El objetivo de este trabajo es revisar los estudios sobre erosión del suelo en la cuenca del Ebro. Se destacan los aspectos metodológicos, los procesos de erosión más importantes y sus principales efectos hidromorfológicos. Los resultados apuntan que las pérdidas de suelo son más elevadas durante la fase de cultivo que tras el abandono. Se destaca también que las prácticas de laboreo condicionan el volumen de escorrentía y las tasas de erosión.

Palabras clave: Erosión del suelo, tierras agrícolas, campos abandonados, procesos de erosión, Cuenca del Ebro (España).

ABSTRACT

The aim of this article is to review the studies about soil erosion of the Ebro Bassin. Methodology features, the most important soil erosion processes and its main hidrological consequences are highlighted. The results point out that the greatest losses of soil are registered during the phase of cultivation and not with the abandonment. It is also noted that labour systems influence the run off and the erosion rates.

Key-words: Soil erosion, agricultural land, abandoned fields, erosion processes, Ebro Bassin (Spain).

* Registrado el 12 de marzo de 2002. Aprobado el 16 de enero de 2003.

¹ Instituto Pirenaico de Ecología (CSIC). Campus de Aula Dei. Apdo. 202, 50080 - Zaragoza.

0. INTRODUCCIÓN

Cada vez existe un consenso más generalizado de que la actividad agrícola constituye una de las principales fuentes de sedimento (Hudson, 1971; Fullen, 1985; Boadman *et al.* 1994; Banisak *et al.*, 1999; Cerdà, 2001). Ello ha sido así tanto en el pasado, con la llamada agricultura tradicional, como en la actualidad. La elevada presión demográfica en algunas áreas de montaña y los escasos avances técnicos, que limitaban mucho la productividad, exigieron la roturación de áreas marginales (laderas con fuertes pendientes) para implantar una agricultura cerealista, sin apenas control de la erosión. En estas condiciones la cerealicultura en laderas tuvo efectos catastróficos, con pérdida de los horizontes superficiales del suelo, aumento de la pedregosidad e incluso afloramiento más o menos generalizado del sustrato rocoso. La formación de algunos abanicos aluviales (Gómez Villar, 1996 y 1996a) y el crecimiento del Delta del Ebro durante la Edad Moderna parecen explicarse más por el aporte excepcional de sedimentos desde campos cultivados en el Pirineo y en el Sistema Ibérico que por cambios climáticos o eventos geológicos (Maldonado, 1983; Dupré, 1990).

Desde finales del siglo XIX, y de forma muy decidida desde los años cincuenta del siglo XX, el descenso de la presión demográfica ha implicado el abandono generalizado de las laderas agrícolas y la concentración de esfuerzos en las mejores tierras (fondos de valle) que se mantienen en cultivo, generalmente con prados de siega (Lasanta, 1989). La colonización vegetal cubre la mayor parte de los campos, reduciéndose las tasas de erosión respecto a la fase de cultivo (García-Ruiz y Lasanta, 1996).

Los espacios agrícolas de montaña han dejado de ser una de las principales áreas fuente de sedimento. El problema, sin embargo, se ha desviado recientemente a los llanos agrícolas y áreas cultivadas de suave desnivel. La agricultura de las últimas décadas se orienta al mercado: trata de incrementar la productividad por unidad de superficie y la rentabilidad por trabajo invertido, lo que lleva al agricultor a preocuparse casi exclusivamente de la explotación y a olvidar las prácticas de conservación del suelo. Por otro lado, el uso de maquinaria agrícola pesada, de abonos químicos y la puesta en regadío de amplios polígonos han favorecido la roturación de terrenos, ocasionalmente poco fértiles y fácilmente erosionables, que hasta entonces se habían mantenido como eriales.

A pesar de la importancia de la actividad agrícola en la erosión del suelo existen muy pocos estudios en España realizados durante la fase de cultivo (García-Ruiz, 1999 y García-Ruiz *et al.*, 2000). Son más abundantes, por el contrario, en campos abandonados en montaña (sobre todo en el Pirineo Central y en el Sistema Ibérico riojano) y en tierras retiradas en el centro de la Depresión del Ebro, como consecuencia de la Política Agraria Comunitaria. Quizá la falta de estudios se deba a la dificultad de instalar sistemas de medida en parcelas cultivadas al interferir con el laboreo agrícola. Tampoco debe desdeñarse la complejidad de este tipo de estudios, dada la gran variedad de cultivos, de sistemas de laboreo y del medio físico utilizado, lo que plantea la necesidad de incrementar el número de instalaciones y los métodos de toma de información. No obstante, la cuenca del Ebro se puede considerar un área privilegiada, al contar con una producción bibliográfica relativamente amplia sobre dinámica hidromorfológica en espacios agrícolas. Aquí se exponen de forma sintética los métodos de trabajo y los principales resultados obtenidos a partir de la literatura científica, con el fin de informar a cerca de los conocimientos actuales y del estado de la cuestión sobre la erosión del suelo en tierras agrícolas de la Depresión del Ebro. Temas que pueden ser ampliados consultando la extensa relación bibliográfica que se incluye al final del artículo.

1. LOS MÉTODOS DE TRABAJO

Los estudios sobre procesos de erosión en laderas adquieren una importante representación en la Geomorfología española desde inicio de los años ochenta. Tales estudios han apostado abiertamente por la cuantificación, con la medición de diversos parámetros (escorrentía, concentración de sedimentos, tasas de pérdida de suelo) y la incorporación de métodos experimentales y, muy ocasionalmente, de laboratorio. En el campo de la erosión inducida por la actividad agrícola se han utilizado en general métodos muy sencillos, con algunas variaciones en función del objetivo a estudiar, de la disponibilidad económica del equipo investigador y sobre todo del momento de realización del estudio, lo que condiciona el instrumental existente en el mercado.

Los métodos más sencillos han consistido en la realización de transectos mediante cinta métrica (Ruiz Flaño, *et al.*, 1990 y 1992) o teodolito (Lasanta, 1985; Arnáez *et al.*, 1993) para determinar el tamaño y la distribución espacial de formas de erosión (surcos, acumulaciones, desprendimientos) en función de la pendiente, tipo de suelo y uso agrícola. Con el fin de estudiar la evolución y la erosión causada por surcos y cárcavas efímeras se han usado microperfiladores topográficos (Casalí *et al.*, 1999).

El empleo de parcelas experimentales supone un claro incremento de la complejidad y de las necesidades financieras. Con ellas se trata de relacionar eventos pluviométricos con la producción de escorrentía y sedimento en diferentes cubiertas vegetales y usos del suelo (López Bermúdez *et al.*, 1992). Las parcelas utilizadas son de pequeñas dimensiones (menores de 30 m²), delimitadas en todo su perímetro para controlar la superficie de drenaje (Foto 1). En la parte baja cuentan con un canal Gerlach, del que sale un tubo para recoger el agua de escorrentía en un bidón, que posteriormente es llevada al laboratorio para determinar los sedimentos transportados y realizar los análisis químicos correspondientes. Este tipo de parcelas se han utilizado en viñedos (Lasanta y Ortigosa, 1983), en diferentes microambientes de campos abandonados (Ruiz Flaño *et al.*, 1991a) y en campos de cereal de La Rioja (Lasanta, 1997a).

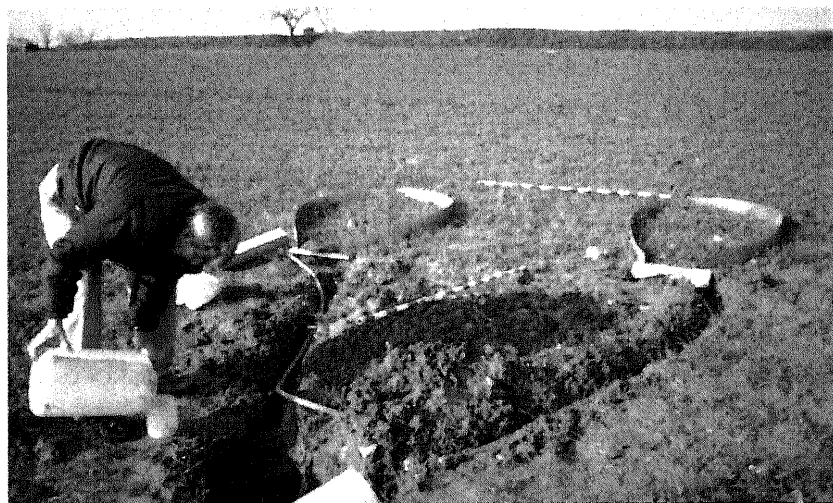


FOTO 1. *Microparcelas para el estudio de la erosión en un campo de cebada.*

Un paso más es el representado por la instalación de estaciones experimentales, en las que las parcelas están sometidas a un control directo, con manejo de los usos del suelo y rotación de cultivos. La Estación Experimental "Valle de Aísa" (EEVA), puesta en funcionamiento en 1991, consta de 9 parcelas de 30 m², conectadas a data loggers para registrar la escorrentía de forma continua. La existencia de un pluviómetro, también conectado a un *data logger*, garantiza el conocimiento del volumen e intensidad de la precipitación (Foto 2). En la EEVA se reproducen los usos agrícolas tradicionales (cereal, cereal de artigueo y barbecho), los actuales (prado, abandonos a partir de cereal y cereal de artigueo), algunas prácticas propias de la agricultura tradicional (parcelas sometidas a incendios con diferente frecuencia) y una parcela de matorral denso que cumple el papel de uso testigo. Los análisis de agua incluyen no sólo la concentración de sedimento, sino también el contenido en los nutrientes más importantes (Lasanta y García-Ruiz, 1998 y 1999).



FOTO 2. Estación experimental "Valle de Aísa".

Mayor complejidad entrañan las cuencas experimentales, porque incorporan sistemas de control relativamente sofisticados para la medición continua del caudal y del sedimento exportado desde la cuenca (sensores de presión o de ultrasonidos, turbidímetro, conductivímetro, tomamuestras automáticos de agua, junto a estaciones meteorológicas y con frecuencia pluviógrafos totalizadores distribuidos por la cuenca). Entre las cuencas instaladas en el Pirineo destacan las localizadas en campos abandonados (Foto 3), tanto en pendiente (Arnáez *et al.*, 1998) como en laderas aterrazadas (Gallart *et al.*, 1997), ésta en el Alto Llobregat y, por tanto, fuera de la cuenca del Ebro. En espacios cultivados se han puesto en funcionamiento recientemente tres cuencas en Navarra, gestionadas por personal del Departamento de Agricultura del Gobierno de Navarra (Donezar, 2000).

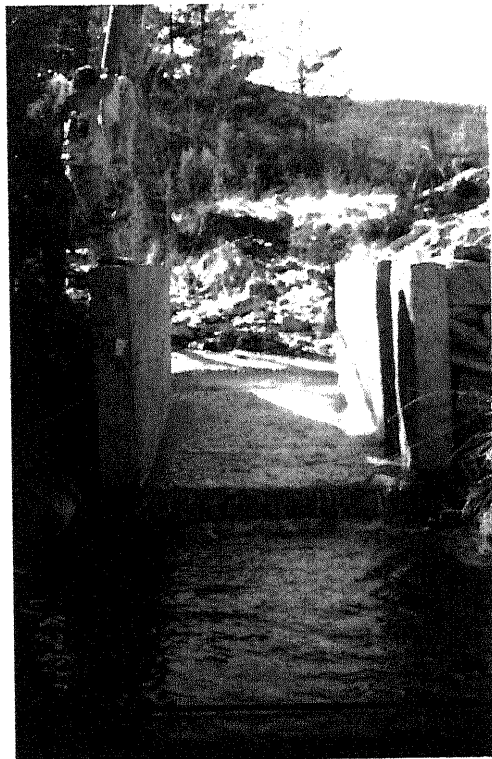


FOTO 3. *Estación de aforos en una cuenca de campos abandonados.*

Para estudiar la capacidad potencial de infiltración del agua en viñedos se empleó el método de los cilindros concéntricos, descrito por Hills (1970), (Lasanta, 1985a). Un avance en la relación infiltración/escorrentía supone el uso de simuladores de lluvia (Foto 4). Se han utilizado en campos abandonados para reproducir eventos de alta intensidad y estudiar la respuesta hidromorfológica de los microambientes dominantes (Arnáez *et al.*, 1996). También se han empleado en el centro de la Depresión del Ebro en suelos cultivados y eriales sobre yesos (Navas, 1990, 1991 y 1993) y en diferentes alternativas de retirada de tierras como consecuencia de la PAC (Lasanta *et al.*, 1995 y 2000). La gran ventaja de los simuladores de lluvia es reproducir, cuantas veces se quiera, eventos pluviométricos de diferente magnitud y así obtener información en poco tiempo.

En barbechos de ambiente semiárido se ha estudiado el desplazamiento de partículas por el viento mediante colectores (López *et al.*, 1998). Por último, hay que señalar la utilización de la técnica de medición e interpretación del Cesio 137 como trazador potencial de la redistribución del suelo en función de diferentes usos (Navas y Machin, 1991; Quine *et al.*, 1994).

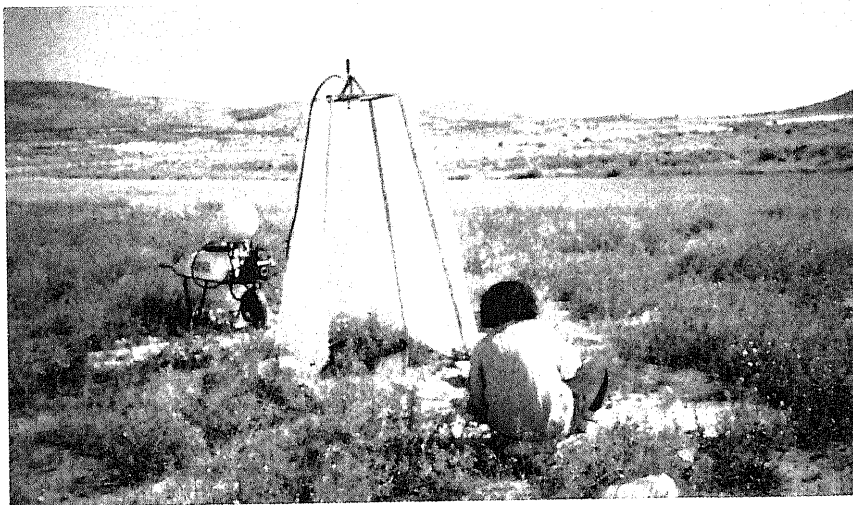


FOTO 4. *Simulación de lluvia en un campo retirado por la PAC.*

2. RESULTADOS

2.1. Procesos de erosión y prácticas de laboreo

En campos de cultivo se desarrollan fundamentalmente tres procesos de erosión hídrica: a) erosión laminar o entre regueros, b) procesos de flujo concentrado (surcos, regueros o pequeñas incisiones, y cárcavas efímeras) y c) procesos de sufusión o de piping. Por otro lado, las infraestructuras relacionadas con el cultivo (acequias de drenaje, colectores de desagüe, caminos, etc.) son frecuentemente lugares muy proclives a incentivar la instalación de procesos erosivos. Hay que destacar también la erosión eólica, que adquiere un papel destacado en barbechos del centro de la Depresión del Ebro, donde el viento cierzo sopla muy fuerte (López *et al.*, 1998).

La erosión laminar se origina por el impacto de las gotas de lluvia en el suelo (*splash*) y el posterior transporte del suelo por un flujo superficial poco profundo y homogéneo (Desir, 2001). Suele aparecer en cultivos de siembra "a voleo" (cereales, cultivos forrajeros) y en barbechos. El periodo más crítico coincide con el menor cubrimiento vegetal después de la siembra, especialmente si el laboreo ha reducido excesivamente la rugosidad del suelo (Lasanta, 1985). Este proceso es difícil de detectar porque afecta de forma homogénea a grandes extensiones y porque deja muy pocas huellas en la superficie del suelo (a veces pequeños hilillos y acumulaciones de limos y arena fina, Foto 5), que además son borradas por labores posteriores.

Los surcos y las cárcavas efímeras se forman cuando la escorrentía avanza concentrada en corrientes capaces de abrir pequeños regueros. Son procesos que se desarrollan, fundamentalmente, durante lluvias intensas, en algunos cultivos plantados en hilera (viñedos sobre todo), en cultivos de regadío (maíz, hortalizas) y en

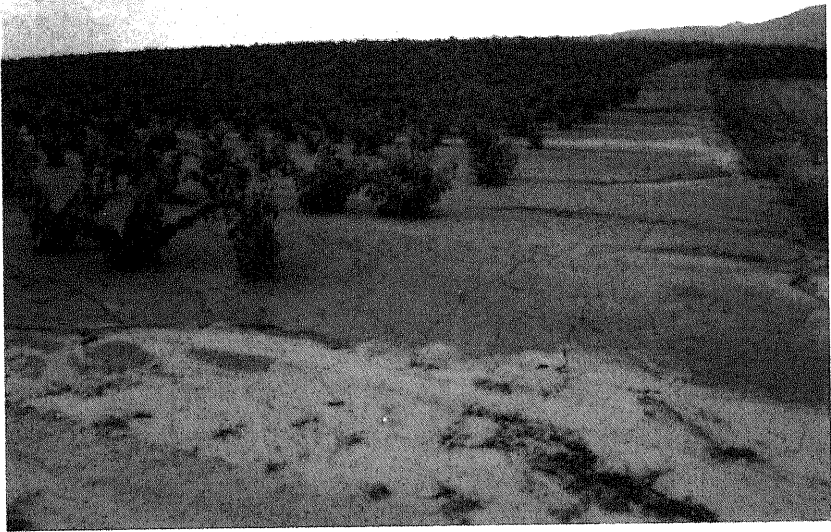


FOTO 5. *Acumulación de finos en la parte baja de un viñedo.*

cultivos de secano en áreas alomadas o laderas de cierta inclinación (más del 15 %), si el laboreo se realiza a favor de la pendiente (Lasanta, 1985). También las discontinuidades con fuerte ruptura de pendiente y las vaguadas con mal drenaje para evacuar las aguas de escorrentía son áreas muy favorables para la génesis de cárcavas efímeras (Casalí *et al.*, 1999a). En campos abandonados se puede desarrollar también una red de incisiones en laderas muy pendientes, como herencia de la fase de cultivo o cuando tras el abandono se impide el avance de la sucesión vegetal (Ruiz Flaño *et al.*, 1991). En cualquier caso, la capacidad de jerarquización de la red es muy escasa, por lo que sólo muy ocasionalmente aparecen incisiones profundas y cárcavas, que podrían llevar al abandono de parte o de todo el campo.

Los pipes son una especie de tuberías o canales que se forman a nivel sub-superficial o subcortical, dando lugar a lo que se conoce como *piping* o procesos de sufosión. Implican el desarrollo de una red subsuperficial de conductos, de gran capacidad para concentrar flujos de escorrentía y arrastrar parte del suelo. Se trata, pues, de un proceso no superficial, pero que en su evolución puede llegar a serlo: Cuando el arrastre de suelo ha sido elevado, su espesor disminuye y parte del techo de los pipes se colapsa, formando una pequeña depresión cerrada en superficie (Foto 6). Cuando varios de estos hundimientos coalescen se puede iniciar una cárcava que, si no es interrumpida en su avance, puede llevar al abandono del campo (García-Ruiz *et al.*, 1986). Aparecen en cultivos forrajeros de regadío, en frutales y en algunos campos de hortalizas abancalados y próximos a cauces fluviales.

De forma muy general se puede admitir que el agricultor tradicional actuaba como un agente conservador del suelo. Le preocupaba su degradación e intentaba limitarla mediante diferentes prácticas: laboreo transversal a la pendiente, rota-



FOTO 6. *Salida de "pipe" y hundimiento superficial.*

ción de cultivos complementarios, riego con buen trazado de acequias para evitar tanto los encharcamientos como la velocidad excesiva del agua, inicio y finalización del laboreo en puntos muy concretos que borran cualquier huella dejada por los aperos de labranza, que podían ser puntos favorables para iniciar un proceso de erosión. En la montaña mediterránea aún son más evidentes los esfuerzos del agricultor para retener el suelo en las laderas: la amplia expansión de cultivos aterrizados (Foto, 7) y la infraestructura de drenajes superficiales y subcorticales, que acompañaban a los bancales, muestran un claro interés por incrementar la infiltración y disminuir la escorrentía. En los valles pirenaicos al este del Gállego se pueden observar muy buenos ejemplos de todo ello (Lasanta, 1990), al igual que ocurre en los valles riojanos del Leza, Jubera y Cidacos (Oserín, 1996). La actitud conservadora del agricultor respecto a los recursos del territorio era una consecuencia lógica, dado que su subsistencia dependía de la fertilidad del suelo, muy ligada al medio natural ante los escasos aportes minerales. Por otro lado, como los cambios en los sistemas de laboreo y en las variedades de cultivo eran muy lentos, el agricultor aprendía empíricamente qué prácticas eran más conservadoras y cuáles más impactantes, conocimientos que transmitía de generación en generación.

No obstante, como señala Puigdefábregas (1992), tampoco es posible generalizar el papel "adaptado" del hombre a la heterogeneidad del territorio. A lo largo de la historia el hombre ha pasado por periodos estables, con predominio de actuaciones conservadoras, y periodos inestables o convulsos (guerras, cambios culturales, incrementos de densidad de población, crisis climáticas, expansión de epidemias agrícolas, etc.) que han producido fases destructivas, con fuerte activación de procesos erosivos. La deforestación de amplias laderas en montaña para alimentar a una población creciente o para recuperar los ingresos perdidos por la decadencia de la trashumancia y el hundimiento de la industria textil (Lasanta, 1997), o la expansión



FOTO 7. *Ladera de campos abancalados en San Vicente de Munilla (La Rioja).*

del viñedo en La Rioja en espacios poco aptos tras la crisis de la filoxera en Francia (García-Ruiz y Arnáez, 1987) son sólo algunos ejemplos de descoordinación entre aptitudes del territorio y exigencias de uso impuestas por el hombre.

2.2. Algunos resultados de la pérdida de suelo en tierras agrícolas de la cuenca del Ebro

Estudios llevados a cabo en los Pirineos (Lasanta, 1989a) y en el Sistema Ibérico (Arnáez *et al.*, 1990) confirman que en el momento de máxima presión demográfica (segunda mitad del siglo XIX) se ocupó todo el territorio susceptible de ser cultivado, por muy escasa potencialidad que tuviera, dedicándose a cereales en alternancia con barbecho. Los resultados obtenidos en la EEVA (Fig. 1) demuestran que la agricultura tradicional en campos en pendiente (cereal, cereal de artigueo y barbecho) producía grandes cantidades de sedimento y elevados coeficientes de escorrentía, muy por encima de las parcelas de matorral, de los campos abandonados y del prado (García-Ruiz *et al.*, 1995, 1996 y 1997). Por otro lado, se comprueba que los usos agrícolas aportan mayor proporción de sedimento en suspensión, mientras que en los usos menos intervenidos por el hombre (prado, matorral) la exportación es básicamente de solutos. Un resultado destacado es que los carbonatos y el calcio representan una proporción elevada en la concentración de solutos, demostrándose así que los nutrientes más importantes del suelo (magnesio, potasio, sodio, nitratos, ...) están bien controlados por una densa cubierta de matorral o de herbáceas. Por el contrario, la proporción de carbonatos y calcio disminuye en los usos agrícolas tradicionales, a la vez que aumentan el resto de nutrientes, menos abundantes en el suelo y más determinantes de su fertilidad (Lasanta y García-Ruiz, 1998 y 1999).

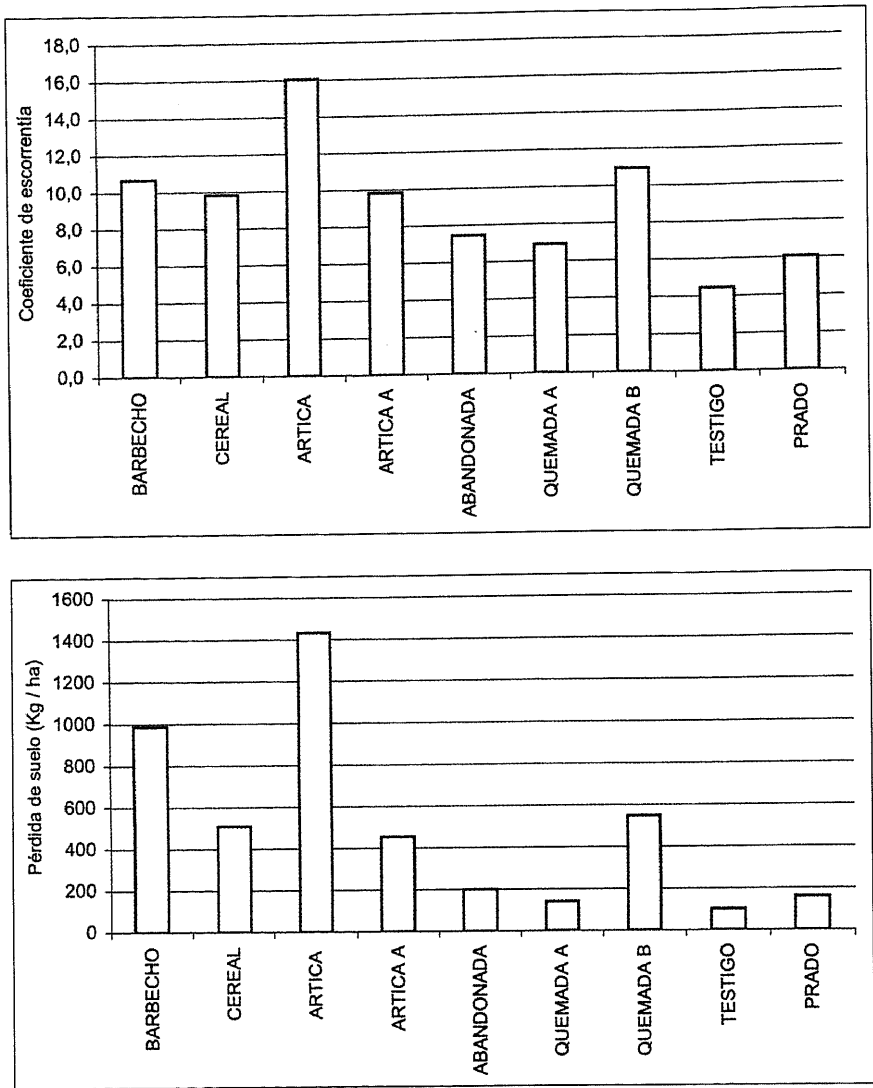


FIGURA 1. *Coeficiente de escorrentía y pérdida de suelo en la EEVA (valores medios 1992-2000).*

Para García-Ruiz y Valero (1996-97) el mantenimiento de este sistema de cultivo (cereal en alternancia con barbecho y amplias extensiones de agricultura nómada: articas en el Pirineo y roturos en el Sistema Ibérico riojano) durante siglos es responsable del estado actual de muchos suelos en laderas de montaña: escasa potencia de los horizontes más fértiles, abundante pedregosidad superficial, que pueden llegar hasta el 100 % en algunos campos actualmente abandonados (Ruiz

Flaño, 1993), incisiones poco marcadas pero eficaces en el transporte de material fino (Ruiz Flaño y García-Ruiz, 1990), pequeñas coladas de piedras y cabeceras activas de torrentes. En estas condiciones la colonización vegetal avanza muy lentamente y no puede borrar en unas pocas décadas las huellas dejadas por la presión humana durante siglos.

En el llano riojano, en un campo del 10 % de desnivel, se comprobó que apenas se registró escorrentía (sólo en cuatro eventos lluviosos y con un coeficiente inferior al 1 %) a lo largo de un ciclo de cultivo de cebada. El agua salió relativamente poco cargada (entre 1 y 5 g/l), a pesar del bajo volumen de escorrentía lo que limitó la dilución del material. De esta forma, las pérdidas de suelo son insignificantes, ya que –además– se trata de un simple desplazamiento de partículas desde la parte alta a la parte baja de la parcela, con muy poca exportación al exterior (Lasanta, 1997a). No hay que olvidar que el cereal y su rastrojo ofrecen un buen cubrimiento del suelo durante la mayor parte del año; por otro lado, el laboreo de levantamiento del rastrojo deja la superficie del campo muy rugosa y con pequeñas depresiones que favorecen la infiltración del agua. No obstante, en áreas proclives a la formación de cárcavas efímeras las tasas de erosión aumentan localmente de forma muy acusada en suelos francos o franco-limosos formados sobre margas del Mioceno en el sur de Navarra (Casalí *et al.* 1999a y b). Del Valle y del Val (1990) indican también el mayor desarrollo de procesos de erosión en campos de cereal que en pastos en un ambiente semiárido como las Bardenas de Navarra, debido a la escasa densidad de cubrimiento alcanzado por el cereal.

Mayores aportes de sedimento tienen lugar en otros cultivos de secano en laderas, a veces con pendientes próximas al 20 %, como los almendros, olivos y vid. En viñedos se estudió la influencia que ejercen los distintos sistemas de laboreo empleados en La Rioja en su comportamiento hidromorfológico (Lasanta y Ortigosa, 1983, 1984 y 1996). Con el apoyo de pequeñas parcelas experimentales se hizo el seguimiento de la producción de escorrentía y sedimento en los sistemas de laboreo: tradicional (el suelo se remueve cinco veces cada año), herbicida (el levantamiento del suelo es sustituido por la aplicación de un herbicida) y mixto (tan sólo el suelo se labra una vez cada año). En los sistemas tradicional y mixto se instalaron parcelas siguiendo las curvas de nivel (S.C.N.) y perpendicular a ellas (P.C.N.).

Los resultados muestran que ante condiciones similares de pendiente el control sobre la degradación del suelo recae en el método de laboreo y en las características texturales del suelo. El primero condiciona las tasas de infiltración/escorrentía y, por tanto, la cantidad de agua que está en condiciones de erosionar, así como su distribución espacial. Las segundas justifican en parte la capacidad de absorción del suelo y la cohesión de sus partículas. Se comprueba, por otro lado, el buen comportamiento geomorfológico de las parcelas con laboreo de herbicida y también tradicional SCN, mientras que las mayores pérdidas se producen en el laboreo mixto, especialmente si se labra a favor de la pendiente. Los coeficientes de escorrentía son muy bajos (inferiores al 1 %), ocurriendo la mayor parte de los eventos con escorrentía en otoño, coincidiendo con las precipitaciones más intensas y un suelo muy apelmazado. Las tasas de suelo desplazadas oscilaron entre 2 y 100 kg/ha por día con registro de escorrentía y llegaron a superar ocasionalmente los 100 kg/ha. Si la lluvia tenía lugar inmediatamente después de arar, las tasas eran mucho más elevadas (Lasanta y Sobrón, 1988).

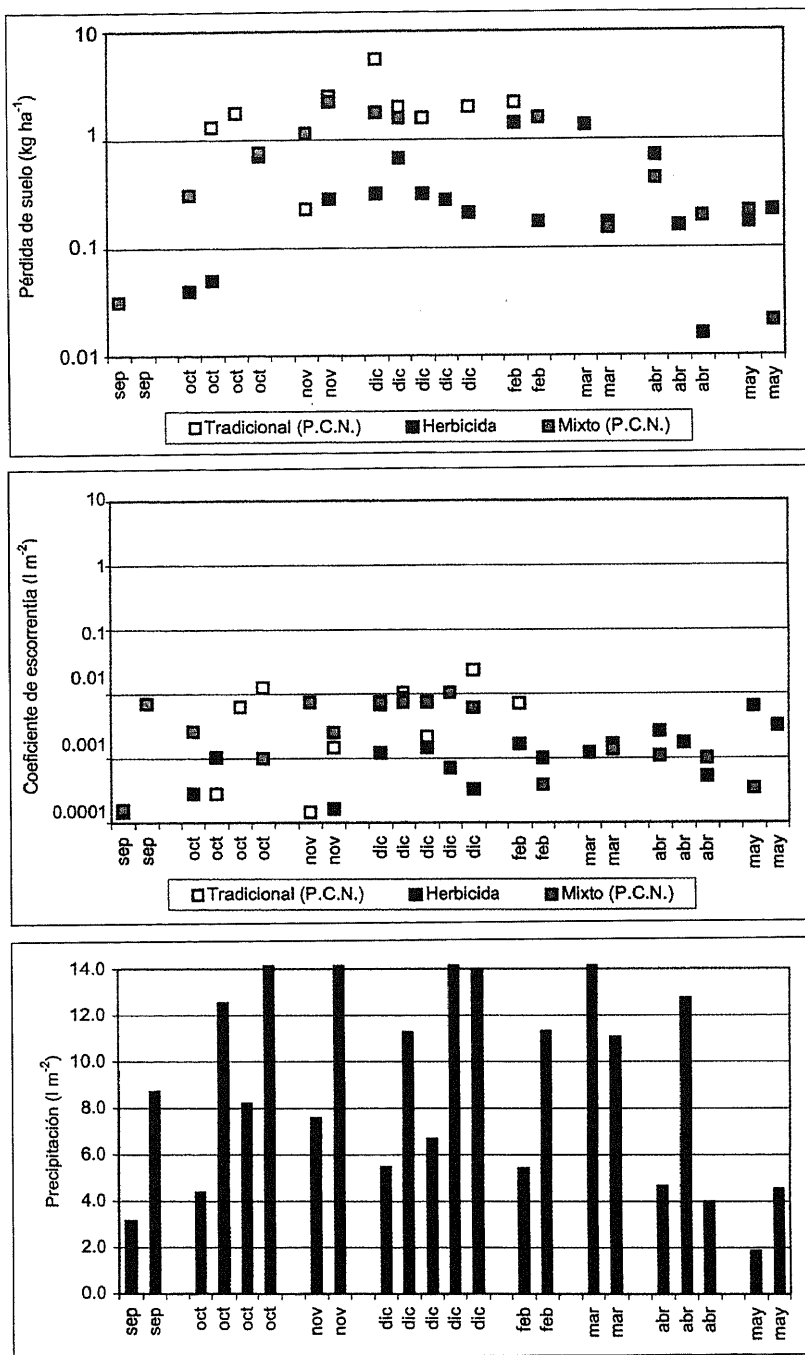


FIGURA 2. Erosión en viñedos con diferente laboreo.

Las principales áreas-fuente de sedimento se localizan en la actualidad en el espacio irrigado. Desde los años cuarenta la superficie de regadío ha aumentado mucho en la cuenca del Ebro, especialmente en los secanos semiáridos de la Depresión del Ebro (Frutos, 1993), donde unas veces se han roturado eriales y otras veces se ha intensificado la explotación de antiguos cultivos de secano, aprovechando casi siempre suelos de carácter salino y/o sódico. El regadío ha ido acompañado de la expansión de cultivos que exigen mucha agua (maíz, arroz, alfalfa, y —en menor medida— frutales y cultivos hortícolas) y bastante susceptibles de producir elevadas tasas de erosión.

En un pequeño polígono de riego localizado en Bardenas (646 ha de superficie, de las que 433 ha se cultivan con arroz, alfalfa, cereales de invierno y maíz, y 213 ha corresponden a áreas acarcavadas y repoblaciones forestales) se estudió la exportación de sedimento y la posible distribución espacial del origen de los solutos. Durante 1 año la exportación total de sedimento fue aproximadamente de 15,2 t/ha/año, de las que 9 t/ha corresponden a la época de riego y 6,2 t/ha a los meses sin riego. La mayor parte del material transportado va en solución (15 t) y muy poco en suspensión (sólo 0,2 t). Los flujos de retorno presentan altas concentraciones de sodio, bicarbonato, cloruros y sulfato, siendo muy bajas en el resto de iones (Fig. 3), si bien la distribución dentro del polígono muestra una gran diversidad en función de los usos del suelo (Lasanta *et al.*, 1999 y 2001a). En cualquier caso, hay que destacar el importante volumen de sales exportadas fuera del polígono, lo que tiene enormes repercusiones aguas abajo, tanto en la salinización de suelos fértiles, como en la pérdida de calidad del agua o sobre la flora y la fauna, hechos puestos reiteradamente de manifiesto por la bibliografía (ver, por ejemplo, Bellot y Golley, 1989; Bellot *et al.*, 1989 y 1989 a; Faci *et al.*, 1985).

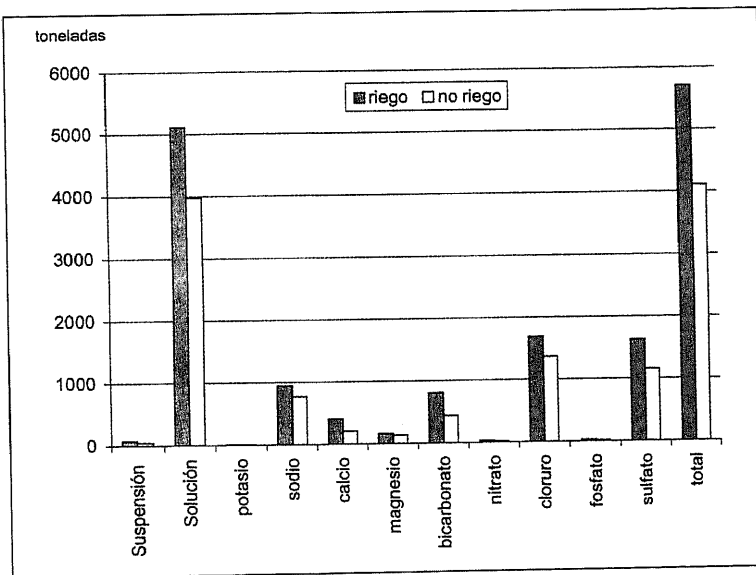


FIGURA 3. *Pérdida de solutos y material en suspensión en un polígono de riego durante un año.*

Los *pipings* constituyen el proceso dominante en alfalfas y frutales cuando en estos últimos se deja crecer una cubierta herbácea para regular la humedad del suelo y no dañar las raíces con el laboreo. En campos de regadío cultivados con alfalfa durante varios años seguidos y en parcelas ligeramente aterrazadas, con saltos entre bancales de al menos 1 metro, es muy frecuente encontrar hundimientos en el borde externo del bancal, como prueba evidente de una evolucionada red de drenaje subsuperficial. Para su formación resulta esencial el mantenimiento del mismo cultivo durante varios años, que permita la organización de una red de conductos en el interior del suelo, y la abundancia de riegos (normalmente 10 cada año) que recibe el cultivo, lo que aumenta la cantidad de agua que circula por el campo favoreciendo la aceleración del proceso.

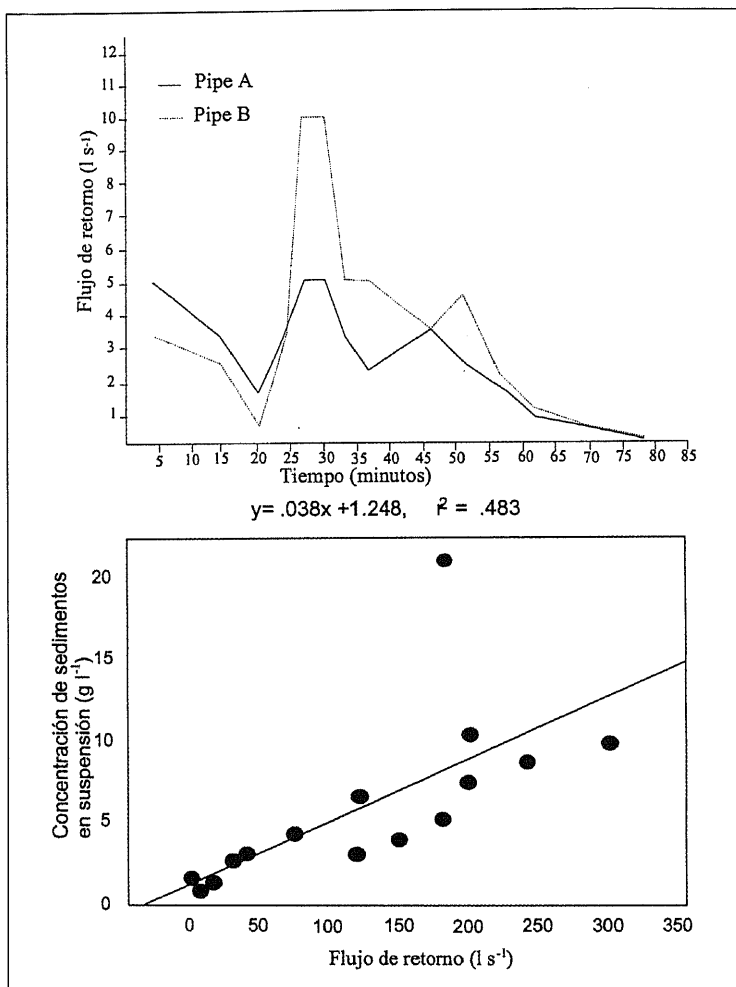


FIGURA 4. *Pérdida de agua y sedimentos en un campo de alfalfa afectado por procesos de piping.*

En una parcela experimental localizada en el llano riojano se pudo comprobar que entre el 8 y el 15 % de las entradas de agua salían de la parcela a través de la red de pipes, lo que se puede considerar como un despilfarro de agua para un ambiente semiárido con posibles problemas de abastecimiento de agua. La exportación de sedimento se evaluó en 3 t/ha/año, una pérdida muy elevada si consideramos que se trata de suelos muy productivos. La magnitud de la erosión aumenta si se tiene en cuenta que casi todo el material procede de la parte inferior de la parcela, es decir, del área afectada por sufosión. Se pudo observar también que se exportaban cantidades elevadas de calcio, fósforo y magnesio, y algo más bajas de potasio, nitratos y sodio (García-Ruiz *et al.*, 1994 y 1997). La figura 4 refleja, en el gráfico a, la evolución de los caudales de retorno durante un riego en dos pipes de una parcela controlada, y, en el gráfico b, la relación que se establece entre caudal de escorrentía y pérdida de sedimentos. En definitiva, con el paso del tiempo el proceso de *piping* produce una considerable degradación del suelo, con pérdida progresiva de fertilidad y erosión de la parte baja de la parcela, donde los agujeros superficiales y los conductos subsuperficiales pueden dificultar las labores agrícolas, e incluso, en ocasiones determinar el abandono de parte o de todo el campo.

2.3. Cultivo frente a abandono agrícola

Desde las primeras décadas del siglo XX ha tenido lugar un intenso proceso de abandono de campos de cultivo tanto en el Pirineo como en el Sistema Ibérico, relacionado directamente con la emigración de la población, con la falta de competitividad de los cultivos cerealistas en laderas de montaña y con las dificultades para utilizar maquinaria agrícola fuera de los fondos de valle. El hecho es que el espacio cultivado ha quedado limitado en el Pirineo aragonés a menos del 30 % del área cultivada a principios de siglo, lo que representa en la mayor parte de los valles una superficie inferior al 3 % de la superficie total (Lasanta, 1988). En algunas comarcas del Sistema Ibérico, como ocurre en Camero Viejo (La Rioja), el abandono ha sido aún más drástico, no cultivándose ahora ni el 1 % del espacio agrícola histórico (Lasanta *et al.*, 1989).

El cese de la actividad agrícola implica el inicio de un proceso de sucesión vegetal que tiende a cubrir en 25-35 años el campo de diversas especies de matorral en función de la litología y de las diferentes estrategias que siguen las arbustivas (Sobrón y Ortiz, 1989; Molinillo *et al.*, 1997). Lo cierto es que si la sucesión vegetal no es interrumpida por fuegos o por una fuerte presión ganadera la totalidad del campo se cubre en sustratos calizos por *Genista scorpius*, como especie dominante, *Rosa sp.*, *Crataegus monogyna*, *Buxus sempervirens* y *Juniperus communis*, y en ambientes silíceos por *Cistus laurifolius*, como vegetación casi monoespecífica. En estas condiciones las pérdidas de suelo y la producción de agua son muy bajas, dando lugar a un ambiente estable geomorfológicamente. Tan sólo en aquellos campos donde actúan (casi siempre de forma muy localizada) procesos agresivos (pequeñas incisiones, descalzamientos, erosión difusa severa) el material removido aumenta hasta superar las 9 t/ha/año, valor muy superior a los 90 kg/ha/año que se movilizan en la parcela de matorral denso (Ruiz Flaño *et al.*, 1991a).

La información obtenida en la EEVA confirma el papel conservador del matorral denso, que representa a la parcela testigo, frente a los usos agrícolas tradicio-

nales. En definitiva, se puede afirmar que el abandono de campos de cultivo en pendiente supone una mejora de la regulación hidrológica de las laderas y un descenso de la erosión del suelo.

Algo muy distinto ocurre en laderas abancaladas. Las terrazas agrícolas eran estructuras creadas para aumentar la infiltración del agua en el suelo y reducir la escorrentía. Ello exigía un enorme esfuerzo de conservación: reparación de los muros caídos tras lluvias intensas y mantenimiento de una red de acequias superficiales y subsuperficiales para facilitar la salida del agua sobrante de las parcelas. La falta de mantenimiento tras el abandono lleva a que los canales de desagüe dejen de ser funcionales e incluso favorezcan la retención de agua en los bancales (Gallart y Llorens, 1994), lo que desencadena desprendimientos en los muros de contención (Foto, 8).



FOTO 8. *Desprendimiento en bancales en Antoñanzas (La Rioja).*

Los estudios llevados a cabo en Camero Viejo (Arnáez *et al.*, 1992 y 1993; Ortigosa *et al.*, 1994) demuestran que las laderas abancaladas movilizan volúmenes importantes de tierra. Por cada 100 metros lineales de bancal se desprenden 39 m³ como media, con una gran variabilidad en relación con la localización del bancal. En áreas cóncavas y pies de vertiente se produce el mayor número de desprendimientos, por la acumulación de agua que aquí tiene lugar, con movilizaciones medias de 73 m³/ha. Los mismos autores comprobaron también que los desprendimientos vienen condicionados, además de por la distribución del agua en las laderas, por el grado de desnivel y la altura del bancal, parámetros con los que se establece una relación directa. Por otro lado,

Lasanta *et al.* (1996 y 2001) apuntan que el sistema de pastoreo del vacuno, que se concentra en los mejores bancales, es un factor que contribuye a incrementar el número de desprendimientos. Una proporción importante del suelo desplomado es desplazado por escorrentía superficial (García-Ruiz *et al.*, 1988), a la vez que los desprendimientos actúan de cabecera para el inicio de procesos de incisión por erosión remontante. De ahí, que las áreas abancaladas constituyen en la actualidad una de las principales fuentes de sedimento en la montaña mediterránea.

El abandono de campos cesó en la montaña prácticamente en los años setenta. Sin embargo, desde 1989 se asiste a la retirada temporal de tierras (*Set-aside*) en áreas llanas como consecuencia de la Política Agraria Comunitaria. Desde la fecha señalada se subvenciona al agricultor por dejar de cultivar parte o toda su explotación durante 5 años como máximo. El carácter obligatorio de la normativa para los productores de más de 92 t de cereal hizo que se dejasen de cultivar amplias superficies en la cuenca del Ebro, especialmente en ambientes semiáridos (Errea y Lasanta, 1993; Meza y Albisu, 1995).

En un campo próximo a Zaragoza, se realizaron pruebas de simulación de lluvia en diferentes alternativas de retirada de tierras: barbecho con un laboreo anual, barbecho con fertilización orgánica, barbecho con abonado químico, y campos dejados sin cultivar con diferente edad (hasta 5 años), sin fertilización y con abonado. Los resultados muestran el importante papel que juega la edad de retirada (Fig. 5), al controlar los volúmenes de infiltración y escorrentía, así como el transporte de sedimento (Lasanta *et al.*, 1994 y 1995). La escorrentía llega a ser máxima a los 2-3 años del cese del cultivo, como consecuencia del apelmazamiento del suelo y la formación de una microcostra superficial que limita la infiltración. Con menos tiempo de retirada el laboreo del suelo mejora las tasas de infiltración y con más de tres años se desarrolla una débil cubierta vegetal que favorece la infiltración del agua y la retención del suelo.

De hecho, la incorporación de abono, especialmente el orgánico, resulta muy positiva, al mejorar la estructura del suelo y favorecer un avance más rápido de la vegetación, incrementando la infiltración y disminuyendo la escorrentía y la concentración de sedimento (Lasanta *et al.*, 2000). Por otro lado, Barrón *et al.* (1994) comprobaron que la retirada de tierras implica la apertura y el desarrollo de *pipes*, al no interrumpirse el proceso por el laboreo agrícola.

En ambientes semiáridos de la Depresión del Ebro la práctica del barbecho es todavía relativamente habitual, habiendo aumentado como consecuencia de la PAC, al ser la alternativa preferida por los agricultores entre las admitidas en el *set-aside* (Meza y Albisu, 1995). En esta región sopla con mucha frecuencia el cierzo, un viento fuerte y constante, capaz de desplazar partículas de suelo, sobre todo en barbechos desprotegidos de cubierta vegetal. Sterk *et al.* (1999) y López *et al.* (2000) han comprobado que el excesivo laboreo del suelo, especialmente si se utilizan aperos que lo pulverizan demasiado, y la labra en el momento de mayor frecuencia del cierzo son prácticas que incrementan las pérdidas de suelo. Estas también se ven condicionadas por la textura del suelo, siendo menos susceptibles de erosión las que favorecen la formación de microcostras superficiales.

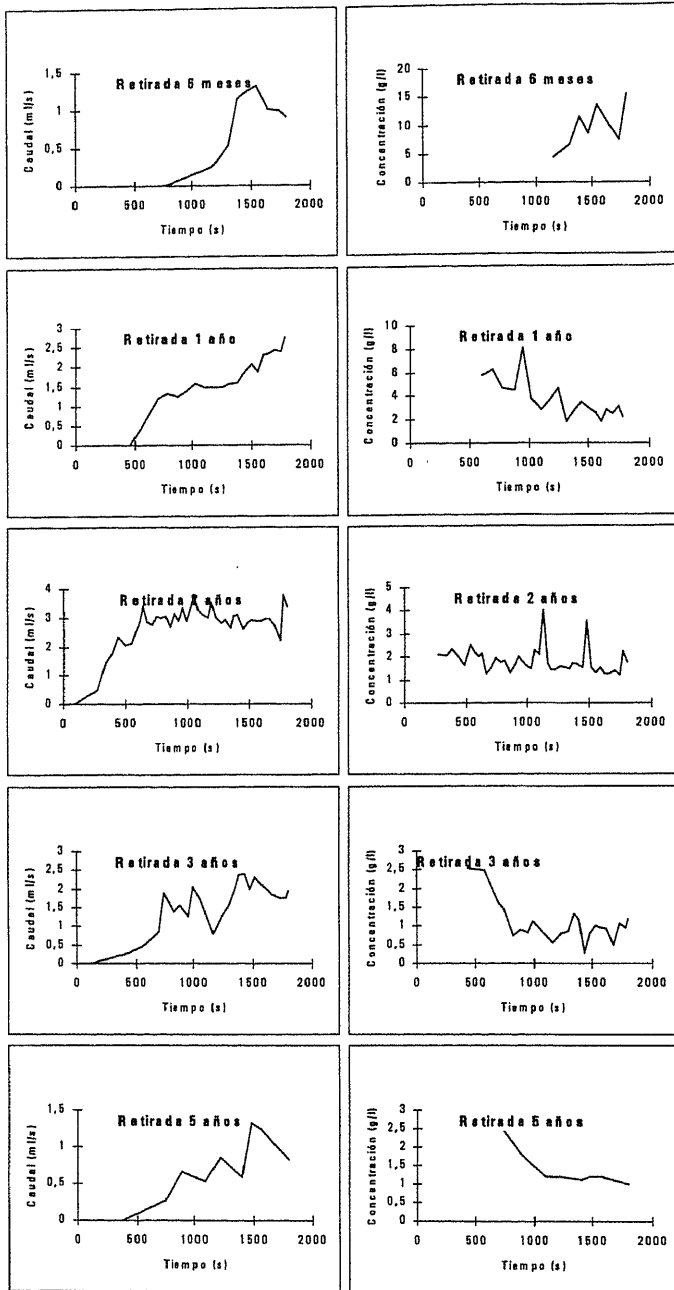


FIGURA 5. *Evolución de la escorrentía y la concentración de sedimento en campos de cultivo con diferente edad de retirada durante una prueba con simulación de lluvia.*

3. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

A lo largo del tiempo el hombre ha organizado el territorio en función de los objetivos a conseguir (autoabastecimiento, venta de productos,...) y de acuerdo con una serie de condicionantes entre los que destacan las características del medio físico, la presión demográfica, la organización social dominante, la disponibilidad de medios técnicos y la manera de percibir las relaciones del hombre con la naturaleza. Algunos de estos factores han cambiado en el tiempo, por lo que la gestión del territorio se ha modificado con consecuencias muy distintas en la erosión/conservación del suelo. Según García-Ruiz (1997) los momentos de mayor presión son los que tienen mayor trascendencia en la dinámica hidromorfológica de laderas y cauces, porque coinciden con las fases más erosivas.

En las páginas precedentes se han visto las consecuencias negativas en la conservación del suelo que acompañó a la expansión de la agricultura tradicional de montaña por laderas marginales (vertientes de elevada pendiente y suelo poco fértil) sin prácticas para limitar la erosión del suelo. En esas condiciones se aportaron grandes cantidades de sedimento a los fondos de valle, llanuras aluviales, conos de deyección y deltas, además de incrementar los picos de crecida y la frecuencia de avenidas. El abandono agrícola de esas laderas ha tenido efectos positivos, al desarrollarse un proceso de sucesión vegetal que al cabo de poco tiempo (25-35 años) cubre toda la superficie de los campos, mejorando las condiciones de infiltración y reduciendo considerablemente la exportación de sedimento. Los resultados obtenidos en la EEVA así lo demuestran, como también el comportamiento más regular de algunos ríos principales (el Cinca y el Ara) que daban muestras a principios de siglo de una gran actividad geomorfológica, con cauces muy inestables que cambiaban de posición con frecuencia y en los que la vegetación estaba casi ausente, como prueba de la intensidad y frecuencia de las avenidas (Rubio y Hernández, 1990; Rubio, 1995). Por otro lado, los estudios realizados tanto en la Depresión del Ebro como en el Pirineo mediante medidas del contenido del cesio-137 en el suelo permiten comprobar que las tasas de erosión en ambientes cultivados superan claramente a las obtenidas en áreas no cultivadas (Quine *et al.*, 1994; Navas *et al.*, 1997). No obstante, algunos campos muestran todavía la huella de su cultivo, con presencia de un matorral muy abierto, escaso suelo y abundante pedregosidad superficial. Hay que tener en cuenta que cuando el suelo quedó muy agotado la recuperación de la cubierta vegetal fue muy lenta, por lo que las tasas de erosión se mantuvieron durante décadas.

Una evolución muy distinta han tenido las laderas abancaladas. Durante siglos recibieron cuidados para retener el suelo en las terrazas. El cese del cultivo ha supuesto que las tareas de conservación han dejado de realizarse, lo que ha desencadenado desprendimientos en los muretes de los bancales y la instalación de otros procesos de erosión que ocasionan conjuntamente elevada exportación de sedimento. Se puede decir, pues, que en las montañas de la cuenca del Ebro las áreas-fuente de sedimento se han desplazado de las laderas marginales para el cultivo a los espacios más fértiles, que habían sido mejorados y conservados (frecuente abonado y construcción de infraestructuras para mantener el suelo) tradicionalmente por el hombre. Esta evolución implica una concentración espacial de la fuente de sedimento, lo que puede favorecer la instalación de infraestructuras de control de la erosión. Entre los aspectos negativos conviene destacar que el problema de la erosión se agudiza recientemente ya que el desarrollo sostenible sólo es viable con el apoyo productivo de los espacios más fértiles.

En el llano la roturación de antiguos eriales, acompañada por prácticas de intensificación (sobre todo de regadío), implica la aparición de procesos erosivos muy agresivos, ligados a flujo concentrado superficial (surcos, cárcavas efímeras), subsuperficiales (*piping*) y a infraestructuras de canalización del agua. El regadío supone una alta acumulación de agua en muy poco tiempo, generando flujos con gran capacidad para arrastrar materiales, algo que con lluvias normales ocurre muy ocasionalmente, a veces con largos periodos de retorno (Beguiría y Lorente, 1999). El alto caudal de los flujos de retorno hace que las pérdidas de suelo sean muy elevadas, especialmente en aquellos cultivos que necesitan riegos muy frecuentes. Otro hecho destacable es la alta participación de los solutos en la concentración de sedimento, lo que empeora la calidad del agua de retorno. Ello tiene consecuencias aguas abajo con la contaminación de grandes extensiones de suelos que reutilizan los flujos de escorrentía.

4. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se ha realizado con el apoyo de los Proyectos de Investigación: *La recuperación del espacio agrícola como estrategia de gestión integrada del territorio en áreas de montaña. El ejemplo de los altos valles del Aragón y del Gállego* (P049/2000), financiado por la Diputación General de Aragón, *La identificación de las fuentes de sedimento y áreas generadoras de escorrentía en relación con los cambios de uso del suelo* (REN 2000-1709-C04-01/GLO), *Efectos erosivos del fuego a lo largo de un gradiente climático. Aportaciones para la gestión de áreas quemadas* (REN 2002-00133/GLO) financiados por la CICYT, y *Erosión y escorrentía en laderas cultivadas con viñedos a partir de unidades espaciales topogeomorfológicas y de manejo agrícola* (ANGI-2001/34), financiado por el Gobierno de La Rioja. El trabajo es un resumen de la charla impartida por el autor en el curso: *Temas actuales sobre erosión del suelo en terrenos de cultivo*, organizado por el Departamento de Proyectos e Ingeniería Rural de la Universidad Pública de Navarra.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arnáez, Ortigosa, L., Oserin, M., 1992. Descripción y cuantificación de procesos de erosión en bancales abandonados (Sistema Ibérico, La Rioja). *II Reunión Nacional de Geomorfología*, Tomo I: 193-201, Murcia.
- Arnáez, J. Ortigosa, L., Oserin, M., 1993. Erosión hídrica superficial en campos abandonados del Sistema Ibérico riojano (valles del Leza-Jubera). *Geographica*, 30: 33-45.
- Arnáez, J., García-Ruiz, J.M., Martí, C., Bordonaba, A., Errea, M. P., White, S., 1998. Avenidas y transporte de sedimentos en una pequeña cuenca de montaña media del Pirineo Central. En: *Investigaciones Recientes de la Geomorfología Española* (A. Gómez Ortiz y F. Salvador, Eds). Sociedad Española de Geomorfología: 161-170, Barcelona.
- Arnáez, J., Lasanta, T., Ortigosa, L.M., Ruiz Flaño, P., 1990. L'abandon de l'espai agrícola dans la montagne submediterràenne espagnole: Pyrénées et Système Iberique. *Revue Géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest*, 61: 237-253.

- Arnáez, J., Ruiz Flaño, P., Lasanta, T., 1996. Comportamiento hidromorfológico de los microambientes de campos abandonados con lluvias intensas: experiencias en el valle de Aisa (Pirineo aragonés). *Cadernos Laboratorio Xeológico de Laxe*, 21: 656-669.
- Banisak, K., Mitchell, J.K., Watker, S.E., Rudzka, E., 1999. Comparison of nutrient outputs from two lowland watersheds with different agricultural practices. En: *Impact of Land Use Change on Nutrient Loads Diffuse Sources* (L. Heathwaite, Ed.). *IAHS Publ.*, 257: 13-16.
- Barron, G., Echeverría, M.T., Ibarra, P., Marco, P., Pérez Cabello, F., 1994. Algunas consecuencias geomorfológicas del uso del suelo agrícola en las últimas décadas. La actividad del piping en el Bajo Valle del Huerva (Zaragoza, España). En: *Estudios de Geomorfología en España* (J. Arnáez, J.M. García-Ruiz y A. Gómez Villar, Eds). Sociedad Española de Geomorfología: 255-266, Logroño.
- Beguera, S., Lorente, A., 1999. Distribución espacial del riesgo de precipitaciones extremas en el Pirineo aragonés occidental. *Geographica*, 37: 17-36.
- Bellot, J., Aguinaco, M.T., Pujalte, E., Golley, F. B., 1989. Losses of nutrients in drainage water of an irrigated agroecosystem. *Ecology International Bulletin*, 17: 31-40.
- Bellot, J., Golley, F.B., Aguinaco, M.T., 1989 a. Environmental consequences of salts export from an irrigated landscape in the Ebro River Basin, Spain. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 27: 131-138.
- Bellot, J., Golley, F.B., 1989. Nutrient input and output of an irrigated agroecosystem in a arid mediterranean landscape. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 25: 175-186.
- Boardman, J., Ligneau, L., Roo, A. de, Vandaele, K. 1994., Flooding of property by runoff from agricultural land in northwestern Europe. *Geomorphology*, 10: 183-196.
- Casalí, J., López, J.J., Giráldez, J.V., 1999. Ephemeral gully erosion in southern Navarra (Spain). *Catena*, 36: 65-84.
- Casalí, J., López, J.J., Giráldez, J.V., 1999 a. Erosión por cárcavas efímeras en el sur de Navarra (España): Descripción y cuantificación. *Ingeniería del Agua*, 6 (3): 251-258.
- Casalí, J., Laburu, A., López, J.J., García, R., 1999 b. Digital Terrain Modelling of drainage channel erosion. *J. Agric. Engng. Res.*, 74 (4): 421-426.
- Cerdà, A., 2001. *Erosión hídrica del suelo en el territorio valenciano. El estado de la cuestión a través de la revisión bibliográfica*. Geoforma Ediciones: 79 pp., Logroño.
- Del Valle, J., Del Val, J., 1990. Procesos de erosión y análisis de sus condicionantes en una región semiárida: la cuenca de Cornialto (Bardenas, Navarra). *Cuaternario y Geomorfología*, 4: 55-67.
- Desir, G., 2001. *Erosión hídrica de terrenos yesíferos en el sector central de la Depresión del Ebro*. Tesis Doctoral. Universidad de Zaragoza: 318 pp., Zaragoza.
- Donezar, M., 2000. Diagnóstico y control de la erosión del suelo en Navarra. En: *Temas actuales sobre erosión del suelo en terrenos de cultivo*. Universidad Pública de Navarra.

- Errea, M.P., Lasanta, T., 1993. Política Agraria Comunitaria y retirada de tierras de cultivo en Aragón (1989-1992). *Revista de Estudios Agrosociales*, 164 (2): 43-59.
- Dupré, M., 1990. Historical antecedents of desertification: climatic or anthropological factors? En: *Strategies to combat desertification in Mediterranean Europe* (J.L. Rubio y R.J. Rickson, Eds). Commission of the European Communities: 2-39, Valencia.
- Faci, J., Aragüés, R., Alberto, F., Quilez, D., Machín, J., Arrúe, J.L., 1985. Water and salt balance an irrigated area of the Ebro Basin (Spain). *Irrigation Science*, 6: 29-37.
- Frutos, L.M., 1993 Los cambios de la agricultura de regadío aragonesa (1950-1980). En: *Medio siglo de cambios agrícolas en España* (A. Gil Olcina y A. Morales, Eds). Instituto de Cultura Juan Gil-Albert: 771-803, Alicante.
- Fullen, M.A., 1985. Erosion of arable soils in Britain. *Intern. J. Environmental Studies*, 26: 55-69.
- Gallart, F. y Llorens, P., 1994. Papel de los cultivos de montaña y su abandono en la economía del agua. En: *Efectos geomorfológicos del abandono de tierras* (J.M. García-Ruiz y T. Lasanta, Eds). Sociedad Española de Geomorfología: 43-55, Logroño.
- Gallart, F., Latrón, J., Llorens, P., Rabadà, D., 1997. Hydrological functionig of Mediterranean mountain basins in Vallcebre: some challenges for hydrological modelling. *Hydrological Processes*, 11: 1263-1272.
- García-Ruiz, J.M., 1997. La agricultura tradicional de montaña y sus efectos sobre la dinámica hidromorfológica de laderas y cuencas. En: *Acción humana y desertización en ambientes mediterráneos* (J.M. García-Ruiz y P. López, Eds). Instituto Pirenaico de Ecología: 119-144.
- García-Ruiz, J.M., 1999. *La producción científica de la geomorfología española y su impacto, a través de las publicaciones periódicas*. CSIC-SEG: 104 pp., Zaragoza.
- García-Ruiz, J.M., Arnáez, J., 1987. El medio natural. En: *Cenicero histórico: Transformaciones económicas y cambios sociales en una ciudad riojana*. Ayuntamiento de Cenicero: 13-55 pp, Logroño.
- García-Ruiz, J.M., Lasanta, T., 1996. Changements des utilisations agricoles du sol et developpement durable dans les Pyrénées centrales espagnoles. En: *Erosion, désertification et aménagement du territoire dans les milieux semi-arides méditerranéens* (F. López Bermúdez y P. Rognon, Eds). Med Campus. Universidad de Murcia: 187-212, Murcia.
- García-Ruiz, J.M., Valero, B., 1998. Historical geomorphic processes and human activities in the Central Spanish Pyrenees. *Mountain Research and Development*, 18 (4): 309-320.
- García-Ruiz, J.M., Lasanta, T., Alberto, F., 1994. Pérdida de sedimentos por sufosión en campos de regadío. En *Geomorfología en España* (J. Arnáez, J.M. García-Ruiz y A. Gómez Villar, Eds). Sociedad Española de Geomorfología: 267-276, Logroño.
- García-Ruiz, J.M., Lasanta, T., Alberto, F., 1997. Soil erosion by piping in irrigated fields. *Geomorphology*, 20: 269-278.

- García-Ruiz, J.M., Lasanta, T., Sobrón, I., 1988. Problemas de evolución geomorfológica en campos abandonados: el valle del Jubera (Sistema Ibérico). *Zubía*, 6: 99-114.
- García-Ruiz, J.M., Lasanta, T., González, C., Martí, C., White, S., Ortigosa, L.M., 1997. Sediment sources during the traditional land-use system in the Spanish Pyrenees. *Physics and Chemistry of the Earth*, 22 (3-4): 351-354.
- García-Ruiz, J.M., Lasanta, T., González, C., Martí, C., White, S., Errea, M.P., Maestro, M., 1996. La agricultura marginal como fuente de sedimentos en el Pirineo central. *IV Reunión de Geomorfología*. SEG: 123-132, Ocastro.
- García-Ruiz, J.M., Lasanta, T., Ortigosa, L.M., Arnáez, J., 1986. Pipes in cultivated soils of La Rioja: Origin and evolution. *Z. Geomorph., Suppl. Bd*, 58: 93-100.
- García-Ruiz, J.M., Lasanta, T., Ortigosa, L.M., Ruiz Flaño, P. Martí, C., González, C., 1995. Sediment yield under different land uses in the Spanish Pyrenees. *Mountain Research and Development*, 15 (3): 229-240.
- García-Ruiz, J.M., López Bermúdez, F., Romero Díaz, A., 2000. Geomorfología de vertientes y proceso de erosión. En *Evolución reciente de la geomorfología española (1980-2000)* (A. Gómez Ortiz y A. Pérez González, Eds). Sociedad Española de Geomorfología – Servei de Gestió i Evolució del Paisatge (UB): 223-252, Logroño.
- Gómez Villar, A., 1996. *Conos aluviales en pequeñas cuencas torrenciales de montaña*. Geoforma Ediciones: 189 pp., Logroño.
- Gómez Villar, A., 1996a. Relación entre usos del suelo y desarrollo de conos aluviales en La Rioja Alta. *Zubía, monográfico 8*: 107-122.
- Hills, R.C. 1970. The determination on the infiltration capacity of field soils using the glinder infiltrometer. *Technical Bulletin*, 3: 24 pp.
- Hudson, N., 1971. *Soil conservation*. Batsford: 320 pp., London.
- Lasanta, T., 1985. *Aportación al estudio de la erosión hídrica en campos cultivados de La Rioja*. Instituto de Estudios Riojanos: 152 pp., Logroño.
- Lasanta, T., 1985a. Experiencias de infiltración en viñedos de La Rioja. *Actas del I Coloquio sobre Geografía de La Rioja*. IER (Gobierno de La Rioja): 81-92, Logroño.
- Lasanta, T., 1988. The process of desertion of cultivated areas in the Central Spanish Pyrenees. *Pirineos*, 132: 15-36.
- Lasanta, T., 1989. Organisation spatiale et dynamique récente de l'utilisation du sol dans les Pyrénées centrales espagnoles. *Revue Géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest*, 60 (2): 173-198.
- Lasanta, T., 1989b. *Evolución reciente de la agricultura de montaña: el Pirineo aragonés*. Geoforma Ediciones: 220 pp., Logroño.
- Lasanta, T., 1990. L'agriculture en terrasses dans les Pyrénées centrales espagnoles. *Méditerranée*, 71 (3-4): 37-42.
- Lasanta, T., 1997. La transformación del paisaje en montaña media por la actividad agrícola en relación con las condiciones ambientales. En *Acción humana y desertificación en ambientes mediterráneos* (J.M. García-Ruiz y P. López, Eds). CSIC: 145-172, Zaragoza.

- Lasanta, T., 1997a. La erosión en tierras de cultivo. En: *Naturaleza de La Rioja*. Gobierno de La Rioja: 281-296.
- Lasanta, T., García-Ruiz, J.M., 1998. La gestión de los usos del suelo como estrategia para mejorar la producción y la calidad del agua. Resultados experimentales en el Pirineo central español. *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 24: 39-57.
- Lasanta, T., García-Ruiz, J.M., 1999. Exportación de solutos desde diferentes usos del suelo. Estudio experimental en el Pirineo central español. *Geographica*, 37: 39-57.
- Lasanta, T., Ortigosa, L.M., 1983. Aproximación al comportamiento hidromorfológico de laderas cultivadas con viñas. *VIII Coloquio de Geógrafos Españoles*: 100-107, Barcelona.
- Lasanta, T., Ortigosa, L., 1984. El papel de la escorrentía en la organización textural de suelos cultivados en pendiente: modelos en viñedos de La Rioja. *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 10: 99-111.
- Lasanta, T., Ortigosa, L., 1996. Systèmes de labourage et conséquences hydromorphologiques sur les vignobles de La Rioja (Espagne). En: *Des vignobles et des vins à travers le monde*: 483-489, Bordeaux.
- Lasanta, T., Sobrón, I., 1988. Influencia de las prácticas de laboreo en la evolución hidromorfológica de suelos cultivados con viñedo. *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 14 (1-2): 81-97.
- Lasanta, T., Arnáez, J., Ruiz Flaño, P., Ortigosa, L.M., 1989. Evolución superficial del espacio cultivado en Cameros Viejo (Sistema Ibérico) y su relación con algunos factores geocológicos. *Estudios Geográficos*, 197: 553-572.
- Lasanta, T., Arnáez, J., Ortigosa, L., Oserín, M., 1996. Consecuencias geocológicas del abandono agrícola en Cameros Viejo (Sistema Ibérico). *Zubía, monográfico*, 8: 61-85.
- Lasanta, T., García-Ruiz, J.M., Pérez Rontomé, M.C., Sancho, C., 2000. Runoff and sediment yield in a semi-arid environment: the effect of land management after farmland abandonment. *Catena*, 38: 265-278.
- Lasanta, T., Mosch, W., Pérez, M.C., Maestro, M., Machín, J., 1999. Variabilidad espacial de la pérdida de solutos en un polígono de regadío durante una campaña de riego. *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 25: 25-44.
- Lasanta, T., Pérez Rontomé, M.C., García-Ruiz, J.M., 1994. Efectos hidrológicos de diferentes alternativas de retirada de tierras en ambientes semiáridos de la Depresión del Ebro. En: *Efectos geomorfológicos del abandono de tierras* (J.M. García-Ruiz y T. Lasanta, Eds). Sociedad Española de Geomorfología: 69-82, Logroño.
- Lasanta, T., Pérez Rontomé, M.C., García-Ruiz, J.M., Machín, J. y Navas, A., 1995. Hydrological problems resulting from farmland abandonment in semi-arid environments: the Central Ebro Depression. *Physics and Chemistry of the Earth*, 20 (3-4): 309-314.
- Lasanta, T., Arnáez, J., Oserín, M., Ortigosa, L., 2001. Marginal lands and erosion in terraced fields in the Mediterranean mountains: A case study in the Camero Viejo

- (Northwestern Iberian System, Spain). *Mountain Research and Development*, 21 (1): 69-76.
- Lasanta, T., Pérez Rantomé, M.C., Machín, J., Navas, A., Mosch, W., Maestro, M., 2001a. La exportación de solutos en un polígono de regadío de Bardenas (Zaragoza). *Cuaternario y Geomorfología*, 15 (3-4).
- López Bermúdez, F., García-Ruiz, J.M., Romero, M.A., Ruiz Flaño, P., Martínez, J., Lasanta, T., 1992. *Medidas de flujos y sedimentos en parcelas experimentales*. Geofoma Ediciones -SEG: 38 pp., Logroño.
- López, M.V., Gracia, R., Arrúe, J.L., 2000. Soil surface conditions affecting wind erosion in fallow lands of semiarid Aragon (NE Spain).
- López, M.V., Sabre, M., Gracia, R., Arrúe, J.L., Gomes, L., 1998. Tillage effects on soil surface conditions and dust emission by erosion in semiarid Aragon (NE Spain). *Soil & Tillage Research*, 45: 91-105.
- Maldonado, A., 1983. Dinámica sedimentaria y evolución litoral reciente del Delta del Ebro. En: *Sistema integrado del Ebro* (M. Mariño, Ed): 33-60, Madrid.
- Meza, L., Albisu, L.M., 1995. *Aspectos económicos de la retirada de tierras en Aragón*. Institución Fernando el Católico: 149 pp., Zaragoza.
- Molinillo, M., Lasanta, T., García-Ruiz, J.M., 1997. Managing mountainous degraded landscapes after farmland abandonment in the Central Spanish Pyrenees. *Environmental Management*, 21(4): 587-598.
- Navas, A., 1990. The effect of simulated runoff on the erosion of gypsiferous soils. *Land Degradation and Rehabilitation*, 2: 117-126.
- Navas, A., 1991. Application of simulated rainfall for studying runoff yield and erosive behaviour of gypsiferous soils. In: *Soil Erosion Studies in Spain* (M. Sala, J.L. Rubio y J.M. García-Ruiz, Eds). Geofoma Ediciones: 181-190, Logroño.
- Navas, A., 1993. Soil losses under simulated rainfall in semiarid shrublands of the Ebro Valley. *Soil Use and Management*, 9 (4): 152-157.
- Navas, A. García-Ruiz, J.M., Machín, J., Lasanta, T., Valero, B., Walling, D. E., Quine, A., 1997. Soil erosion on dry farming land in two changing environments of the central Ebro Valley, Spain. *Human Impacts on Erosion and Sedimentation*. IAHS, 245: 13-20.
- Navas, A., Machín, J., 1991. A preliminary research on the use of Cesium-137 to investigate soil erosion in the semiarid landscape of the Ebro river valley. En: *Soil Erosion Studies in Spain* (M. Sala, J.L. Rubio y J.M. García-Ruiz, Eds). Geofoma Ediciones: 191-202, Logroño.
- Ortígosa, L., Oserín, M., Arnáez, J., 1994. Comportamiento geomorfológico del espacio agrario abandonado en Camero Viejo (Sistema Ibérico): Resultados de una modelización territorial. En: *Efectos geomorfológicos del abandono de tierras* (J.M. García-Ruiz y T. Lasanta, Eds). Sociedad Española de Geomorfología: 121-134, Logroño.
- Oserín, M., 1996. *Caracterización y evolución geomorfológica de bancales abandonados en Cameros Viejo (Sistema Ibérico riojano)*. Memoria de Iniciación a la Investigación. Universidad de La Rioja: 136 pp., Logroño.
- Puigdefábregas, J., 1992. Mitos y perspectivas sobre la desertificación. *Ecosistemas*, 3: 18-22.

- Quine, T.A., Navas, A., Walling, D.E., Machín, J., 1994. Soil erosion and redistribution on cultivated and uncultivated land near Las Bardenas in the Central Ebro Basin. *Land Degradation and Rehabilitation*, 5 (1): 41-55.
- Rubio, V., 1995. Dinámica fluvial del río Ara (Pirineo aragonés). Tesis Doctoral. Universidad Autónoma de Madrid: 615 pp., Madrid.
- Rubio, V., Hernández, C., 1990. La evolución reciente del cauce del río Ara. *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 16: 99-108.
- Ruiz Flaño, P., 1993. *Procesos de erosión en campos abandonados del Pirineo*. Geoforma Ediciones: 190 pp., Logroño.
- Ruiz Flaño, P., García-Ruiz, J.M., 1990. Some remarks on rill evolution on abandoned fields. In: *Interaction between agricultural systems and soil conservation in Mediterranean belt*: 18-25, Lisboa.
- Ruiz Flaño, P., Martínez Rica, J.P., García-Ruiz, J.M., 1990. Microambientes geomorfológicos en campos abandonados. *I Reunión Nacional de Geomorfología*: 641-651, Teruel.
- Ruiz-Flaño, P., Ortigosa, L., García-Ruiz, J.M., 1991. Distribución espacio-temporal de los microambientes geomorfológicos en campos abandonados en pendiente (Valle de Aísa, Pirineo aragonés). *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 17 (1-2): 89-101.
- Ruiz Flaño, P., Lasanta, T., García-Ruiz, J.M., Ortigosa, L., 1991 a). The diversity of sediment yield from abandoned fields of the Central Spanish Pyrenees. *IAHS*, 203: 103-110.
- Ruiz Flaño, P., Ortigosa, L., García-Ruiz, J.M., Lasanta, T., 1991. La producción de sedimentos en suspensión en microambientes geomorfológicos de campos abandonados. En: *Territorio y Sociedad*. Asociación Española de Geógrafos: 69-76, Valencia.
- Ruiz Flaño, J.M., García-Ruiz, J.M., Ortigosa, L.M., 1992. Geomorphological evolution of abandoned fields. A case study in the Central Pyrenees. *Catena*, 19: 301-308.
- Sobrón, I., Ortiz, F., 1989. Aspectos de la colonización vegetal en un área de montaña submediterránea: el valle del Jubera (Sistema Ibérico, La Rioja). *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 15 (1-2): 99-108.
- Sterk, G., López, M.V., Arrúe, J.L., 1999. Saltation transport on a silt loam soil in northeast Spain. *Land Degradation and Development*, 10: 545-554.