PÉRDIDA DE NUTRIENTES DE SUELOS CON DISTINTOS TIPOS DE USOS DEL TERRITORIO EN EL CENTRO DE LA PENÍNSULA IBÉRICA.

Ramón Bienes

Instituto Madrileño de Investigación Agraria y Alimentaria. Comunidad de Madrid
Tlf: 918879424
e-mail: ramon.bienes@imia.comadrid.es

M.J. Marqués

Instituto Madrileño de Investigación Agraria y Alimentaria. Comunidad de Madrid

Uno de los problemas ocasionados por la erosión hídrica es la pérdida progresiva de nutrientes del suelo que limita el desarrollo de la vegetación, lo que redundará en tasas aún mayores de erosión. La detención de este círculo vicioso antes de llegar a la desertificación, puede conseguirse favoreciendo usos del suelo que frenen la fuga de nutrientes. El presente trabajo expone los datos de pérdida de nutrientes en el agua de escorrentía o en el sedimento, obtenidos en suelos con distintos tipos de cubierta vegetal durante los años 1994 a 1997.

Las localidades donde se ha realizado este trabajo son: El Encín y Aranjuez, en Madrid; Marchamalo en Guadalajara y Albadalejito en Cuenca. El clima semiárido de estas localidades acentúa aún más los problemas de la erosión debido al clima extremado continental y al régimen de lluvias.

Los tipos de cubierta vegetal ensayados en parcelas de erosión de 4x20 metros, fueron: suelo desnudo, cultivo de cebada, vegetación espontánea y pastizal.

Las variables consideradas en el agua fueron: nitratos, fosfatos, bicarbonatos y cloruros. En el suelo arrastrado por erosión, se valoró el fósforo asimilable y la materia orgánica. Los cationes de cambio: Ca, Mg, Na y K se determinaron tanto en el agua como en el sedimento.

Los resultados muestran que, salvo algunos casos puntuales, el comportamiento de las distintas localidades es homogéneo, por lo que pueden agruparse los datos de todas ellas. En estas condiciones, el suelo desnudo presenta las mayores pérdidas significativas ($p<0.05$) de materia orgánica y cationes. La magnitud de esta pérdida es directamente proporcional a la pluviometría. Así en el año más lluvioso, 1996, se perdieron 64 t/ha de suelo, que implicaron una pérdida anual de 1154 kg/ha de materia orgánica y 2.96 kg/ha de fósforo, 384 kg/ha de Ca, 19.3 kg/ha de Mg, 22.6 kg/ha de Na y 32.3 kg/ha de K.

Los resultados de estas variables en los suelos con cubiertas vegetales permiten concluir, al final del periodo estudiado, que la vegetación espontánea es la que mejor retiene los nutrientes, seguida de la cebada bajo mínimo laboreo, quedando el pastizal como el tipo de cubierta con más pérdida de nutrientes arrastrados con el sedimento.

Sin embargo, en cuanto a la pérdida de solutos, el pastizal tiene un comportamiento similar al de la vegetación espontánea, con menores pérdidas que los cultivos de cebada.

La menor pérdida de fosfatos también se produce con vegetación espontánea, no habiendo diferencias en las pérdidas de cloruros o de bicarbonatos, Ca o Mg. El Na es más retenido por el pastizal, y el K, es el catión que más se pierde en las parcelas cultivadas con cebada.

INTRODUCCIÓN

La reducción de la contaminación de origen agrícola tiene dos vertientes fundamentales: la gestión cuidadosa del suministro de nutrientes y el control de la erosión.

El suministro extra de nutrientes debe plantearse tras considerar previamente todas sus posibles fuentes: las condiciones del suelo a abonar, su historial de cultivo, el contenido de nutrientes en el agua de riego y en el abono previsto e incluso la deposición atmosférica (NADP/NTN, 1998). Por último, la dosis definitiva de nutrientes debe ajustarse a unas expectativas realistas de producción, pues el rendimiento de los cultivos no aumenta proporcionalmente con la cantidad de nutrientes que se incorporan al suelo, sino que alcanza un óptimo por encima del cual se pueden producir efectos negativos (Felipó y Garau 1987; Sendra et al., 1993). Este exceso de nutrientes, con toda probabilidad, será transportado por el agua de escorrentía o junto a los sedimentos que se originan por fenómenos erosivos, fundamentalmente de tipo hídrico o bien lixiviados por el agua de drenaje a horizontes y capas del suelo más profundas, frecuentemente lejos de los sistemas radiculares, en cuyo caso no sólo no pueden ser tenidos en cuenta a la hora de estudiar la fertilización mineral de las plantas, sino que también son los responsables de la contaminación de muchos acuíferos.

La capacidad de los terrenos agrícolas de ser origen de contaminación difusa dependerá, además de su contenido en nutrientes, de la topografía y características estructurales del suelo, de su proximidad a corrientes de agua, ya sean superficiales o subterráneas, de la climatología de la zona y del tipo de cultivo o uso del suelo predominante; el conjunto de estos factores da idea de la susceptibilidad de un terreno a la erosión.

La importancia de este problema ha dado lugar a estudios que abordan los efectos de la erosión en áreas no agrícolas (Sala et al., 1991); en antiguas áreas agrícolas actualmente abandonadas (García-Ruiz y Lasanta, 1994; Lasanta y García Ruiz, 1996), o que se centran en el estudio de la influencia de distintos tipos de laboreo y especies cultivadas sobre la conservación del suelo y del agua (Sturgul, 1990; Yoo and Rochester, 1989).

El presente trabajo se enmarca en este contexto, considerando distintos tipos de cubierta del suelo. Para ello se procedió a recoger tanto los sedimentos arrastrados como las aguas de escorrentía generadas tras cada episodio lluvioso. Ambos tipos de muestras (sedimentos y escorrentía) fueron analizados para determinar la pérdida total de nutrientes de cada muestreo. A partir de estos datos, se han cuantificado las pérdidas anuales, las cuales suponen además de un sacrificio económico, un potencial elemento contaminante del entorno.

La magnitud de la pérdida de nutrientes es función, además, de la propia naturaleza del elemento o compuesto considerado y de su comportamiento en el medio. El nitrógeno tiende a circular constantemente a través de suelo, plantas, seres vivos, agua y atmósfera, transformándose mediante reacciones químicas o bioquímicas. El control de este ciclo reside básicamente en los microorganismos, la temperatura y la disponibilidad de oxígeno y carbono del suelo. El desplazamiento del equilibrio entre estos procesos determina si el nitrógeno será captado por las plantas o si se perderá, transformado en N_2 o N_2O hacia la atmósfera o dependiendo de la pluviometría,

arrastrado por el agua hacia cauces fluviales o aguas subterráneas en forma de nitratos (Rowden et al., 1995).

El fósforo tiene un ciclo más limitado, mucho más independiente de transformaciones biológicas. Los fosfatos solubles en el agua son inmediatamente absorbidos por las plantas, pero los liberados por descomposición o los añadidos en fertilizantes, tienden a ser adsorbidos por las partículas del suelo y por tanto, inmovilizados. El control de este elemento depende de las condiciones químicas del suelo, como su pH, el estado de óxidorreducción, el contenido en materia orgánica o la concentración de óxidos e hidróxidos de hierro y aluminio.

En condiciones normales el contenido en fósforo del suelo va del 0,01 al 0,2 % de su peso seco, este valor aumenta en zonas agrícolas (Sims, 1992), sobre todo en caso de utilizar estiércol como abono, pues su relación N/P es aproximadamente 3, mientras que la relación a la cual son captados por las plantas oscila de 5 a 7, por tanto, la mayoría de los suelos fertilizados artificialmente tienen mucho más fósforo del que necesitan las plantas para el crecimiento (Killorn, 1980; Novais and Kamprath, 1978).

El balance entre la cantidad de N y P añadidos como fertilizante y la cantidad que realmente es captada por las plantas debe ser estudiado en profundidad. Algunos trabajos citan que alrededor del 33 al 40 % del N y el 63 % del P permanecen en el terreno tras la recogida de las cosechas (NRCBA, 1993; Daniel et al., 1997).

En lo que se refiere a sales solubles en el suelo (fundamentalmente sales de calcio, magnesio, sodio, potasio, carbonatos, bicarbonatos, sulfatos y cloruros), su concentración depende básicamente del tipo y estructura del suelo. Su movimiento o su acumulación son función de características ambientales como el régimen de lluvias o la tasa de evapotranspiración. En zonas húmedas predomina la disolución de estas sales minerales que son lixiviadas y arrastradas con el agua de lluvia. En climas áridos y semiáridos, las sales tienden a concentrarse en el suelo. Cuando llueve estas sales son fácilmente arrastradas por el agua, incluso en suelos yesíferos de escasa capacidad de solubilización. En periodos secos, la concentración excesiva de sales en los suelos puede alcanzar niveles tóxicos para algunas plantas como consecuencia de estrés hídrico, ya sea por la salinización (cloruros, sulfatos de calcio y magnesio), por sodificación, (acumulación de Na^+ intercambiable) o por alcalinización, dónde además de sodio se acumula carbonato sódico que eleva el pH del suelo.

Área de estudio

Las parcelas de ensayo están ubicadas en las siguientes localidades: Alcalá de Henares (El Encín) y Aranjuez, ambas en la provincia de Madrid; Marchamalo (Guadalajara) y Albadalejito (Cuenca). Es decir, en el centro de la península Ibérica y bajo un clima mediterráneo templado (Elías y Ruiz, 1977). En todos los casos se trata de fincas pertenecientes a organismos dedicados a la investigación agraria en sus respectivas comunidades autónomas. Las características más concretas de cada localidad se detallan en la Tabla 1.

Tabla 1:

Área de estudio. Características climáticas y edáficas de las parcelas de estudio.

Localidad	*El Encín*	*Aranjuez*	*Marchamalo*	*Albadalejito*
Provincia	Madrid	Madrid	Guadalajara	Cuenca
Temperaturas				
Tª máxima absoluta	38,8	37,7	40,0	36,0
Tª media de las máximas	20,8	20,3	19,2	18,2
Tª media mensual	13,5	13,7	13,7	11,9
Tª media de las mínimas	6,2	7,1	8,1	5,5
Tª mínima absoluta	-8,1	-6,8	-10,4	-10,1
Precipitación total (mm)				
1994/95	593	427	598	646
1996/97	1031	831	1344	1139
Clase textural	Franco-arcillosa	Arcillosa	Arcillosa	Franco-arenosa
Horizontes	Ochrico; Cámbico y Cálcico	Ochrico y Gypsico	Cámbico y Argílico	Ochrico; Argílico y Cálcico
Pendiente	6 %	10 %	12.3 %	8.9 %
Características del suelo				
pH	8.2	7.4	7.5	7.4
Materia orgánica (%)	1.11	2.20	1.12	0.63
P (ppm)	8.0	37.0	-	92.0
Ca (ppm)	4582	1237	4410	1771
Mg (ppm)	137	206	275	96
Na (ppm)	123	46	8	135
K (ppm)	278	387	-	144

En el transcurso del trabajo se registraron los eventos climáticos correspondientes a cada zona de estudio gracias a la instalación de estaciones meteorológicas automáticas *in situ*, que determinaron la pluviometría, velocidad del viento y temperatura del aire, humedad relativa y radiación solar. La precipitación total registrada en cada localidad permite distinguir un período seco en los dos primeros años del estudio (1994 y 1995) y un período húmedo los dos últimos (1996 y 1997). No obstante, se mantienen los meses de mayo a septiembre como los de menores precipitaciones, con valores comprendidos entre 158 y 360 mm en todas las localidades (Bienes et al., 2001). Se ha comprobado que no existen diferencias significativas entre las localidades en lo que respecta a la precipitación, lo que permite comparar los episodios erosivos debidos a este factor.

MATERIAL Y MÉTODOS

En cada localidad se ha dispuesto de cuatro parcelas tipo USLE (4x20 m) sobre las que se ensayaron distintos tipos de cubiertas vegetales y manejo del suelo: suelo desnudo mediante la aplicación de herbicida; cultivo de cebada bajo sistema de laboreo de conservación; abandono de cultivo y colonización por parte de la vegetación espontánea y, por último, abandono del cultivo tras siembra de leguminosas (pastizal).

El laboreo de conservación en las parcelas de cebada consistió en dos pases de cultivador tipo chisel, poco antes de la siembra, a favor de pendiente, con el fin de simular lo más posible las prácticas agrícolas habituales.

Los cultivos de cebada recibieron un abonado consistente en aportar 40 kg/ha N; 120 kg/ha P_2O_5 y 20 kg/ha K_2O en el mes de Noviembre de 1993, 94 y 95. En Marzo de 1996 se les aportó 125 kg/ha de urea perlada, que supone 1 kg/80 m^2 de N. En Febrero de 1997 se les aportó 103 kg/ha N; 103 kg/ha P_2O_5 y 103 kg/ha K_2O.

Los nutrientes determinados en el agua de escorrentía fueron: nitratos, fosfatos, cloruros, bicarbonatos, Ca, Mg, Na y K. Por el contrario, en los sedimentos se analizó el fósforo asimilable, la materia orgánica y los cationes de cambio.

Los análisis químicos de las variables se realizaron siguiendo los métodos oficiales aprobados por el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA, 1994)

TRATAMIENTO DE DATOS

Desde 1994 a 1997 se tomaron de cada tipo de cubierta de suelo 52 muestras en El Encín, 40 en Aranjuez, 49 en Marchamalo y 32 en Albadalejito, en distintos momentos del año, lo que hace un total de 690 muestras.

Dado que las distribuciones no se ajustaban a la normalidad, se han utilizado métodos no paramétricos para determinar la relación entre las variables y la significación estadística de los resultados obtenidos.

Resultados y Discusión

Se ha realizado un estudio por localidades para determinar si existen diferencias significativas que pudieran atribuirse a las características particulares de cada una de ellas.

Las localidades de Marchamalo y Aranjuez son las que presentan mayores pérdidas significativas de sedimento, y por consiguiente de materia orgánica y fósforo asociados al suelo. También son estas dos localidades las que sufren mayores pérdidas de cationes de cambio del suelo. No en vano son las que mayor pendiente presentan con 12,3 y 10% respectivamente (Tabla 1).

En Marchamalo, las parcelas con suelo desnudo tienen las mayores pérdidas en 1996, el año de mayor pluviosidad, en el que se llegaron a alcanzar las 64 t/ha de sedimento, con pérdidas de 1154 kg/ha de materia orgánica y de 2,96 kg/ha de fósforo. Los cationes de cambio del suelo perdidos en esta localidad y año fueron, en kg/ha, los siguientes: Ca 384, Mg 19,3, Na 22,6 y K 32,3. Se trata de valores importantes, que disminuyen en el momento en que hay una cubierta vegetal que mitigue los efectos de la erosión. Así, en ese mismo año, las pérdidas de suelo con cultivo de cebada se limitaron a 0,09 t/ha, valor relativamente bajo si se tiene en cuenta que trabajos realizados en diferentes países del ámbito mediterráneo han dado unos márgenes de pérdidas de suelo para cereales de secano que oscilan entre los 0,15 y los 0,90 t/ha (Kosmas et al, 1997).

La tabla 2 expresa el volumen total de la escorrentía y la pérdida total de nutrientes asociados a la escorrentía en las distintas localidades estudiadas, para cada uno de los

tipos de cubierta ensayados al final de los cuatro años del estudio. Se realizó una comparación de volumen de escorrentía entre localidades y pudo comprobarse, mediante test Kolmogorov-Smirnov, que no existían diferencias significativas entre ellas, por ello, se procedió a realizar la comparación entre tipos de cubierta considerando todas las localidades.

Tabla 2:

Resumen de la pérdida total de nutrientes en el agua de escorrentía en todo el periodo estudiado (1994-1997).

Localidad	*Tipo de cubierta del suelo*	*Volumen de escorrentía* mm	*Iones de cambio* kg ha^{-1}				*Sales en disolución* kg ha^{-1}			
			Ca	*Mg*	*Na*	*K*	*NO^-_3*	*PO^{3-}_4*	*Cl^-*	*HCO^-_3*
El Encín, Madrid										
	Desnudo	144,9	40,37	4,71	12,42	15,11	18,25	5,85	8,37	32,95
	Cebada	11,6	1,37	0,20	0,69	0,71	1,17	0,21	0,29	1,06
	Espontánea	13,8	2,05	0,35	1,13	0,43	1,83	0,69	0,67	1,95
	Pastizal	20,6	2,81	0,35	0,89	1,65	1,56	0,52	0,54	2,64
Aranjuez, Madrid										
	Desnudo	153,1	73,07	7,54	32,29	10,99	28,68	6,51	10,43	33,14
	Cebada	20,9	6,93	0,94	2,10	2,79	3,26	0,97	1,94	3,92
	Espontánea	18,8	6,37	2,00	2,22	3,90	3,60	1,88	2,83	17,94
	Pastizal	47,4	0,11	0,08	0,06	0,21	0,07	0,06	0,03	0,53
Marchamalo, Guadalajara										
	Desnudo	163,0	43,15	6,08	13,59	10,50	33,64	9,25	3,47	14,32
	Cebada	10,6	1,64	0,26	0,69	0,52	2,72	0,68	0,48	1,69
	Espontánea	13,9	1,87	0,29	0,74	0,43	2,03	0,53	0,54	1,54
	Pastizal	13,8	1,87	0,29	0,29	0,43	2,03	0,53	0,59	1,54
Albadalejito, Cuenca										
	Desnudo	74,8	7,73	2,70	13,84	4,99	24,40	4,60	2,40	6,14
	Cebada	6,3	1,16	0,21	0,85	3,29	1,57	1,16	0,30	0,70
	Espontánea	9,3	0,0013	0,0003	0,0017	0,0010	0,0025	0,0011	0,0003	0,0009
	Pastizal	13,9	2,69	0,66	1,00	1,85	2,17	1,31	2,08	4,00

En la tabla 3 se presentan los resultados del test de Kolmogorov-Smirnov, y puede observarse que el suelo desnudo se diferencia con valores $p<0.001$ del resto de tipos de cubierta, las diferencias también son significativas, aunque menos evidentes, entre las parcelas de cebada si se comparan con las de vegetación espontánea o pastizal. Sin embargo, no se pueden establecer diferencias entre pastizal y vegetación espontánea en su capacidad de retener el agua de escorrentía.

Tabla 3

Resultados del test de Kolmogorov-Smirnov para valorar la significación de las diferencias de volumen de escorrentía para cada tipo de cubierta del suelo. (n.s.: no significativo)

	Volumen de escorrentía(mm)			
Tipo de cubierta	Suelo desnudo n = 173	Cebada n = 172	Veg. Espont. n = 173	Pastizal n = 172
Suelo desnudo	-			
Cebada	p <0,001	-		
Vegetación espontánea	p <0,001	p < 0,01	-	
Pastizal	p <0,001	p < 0,025	n.s.	-

También las pérdidas de nutrientes que se asocian al agua de escorrentía son más evidentes para unos tipos de cubierta que para otros. De nuevo, el suelo desnudo se distingue significativamente del resto de cubiertas en que las pérdidas de todos los nutrientes siempre son mayores.

Se dan los valores más bajos en los años más secos y los más elevados en los años más húmedos, así el volumen de escorrentía estuvo comprendido entre los 32 mm en 1994, el año más seco, y los 228 mm en 1996, el año más húmedo. Análogamente, las pérdidas de nitratos fueron desde 8,3 hasta 58,6 kg/ha, las de fosfatos desde 1,7 a 14,2 kg/ha, y las de potasio desde 0,14 hasta 19,7 kg/ha para esos mismos años.

La figura 1 muestra cómo aumenta el volumen de escorrentía en el año más húmedo, 1996, y cómo este factor afecta más a los nitratos que a los fosfatos. En general, a medida que transcurren los años de este estudio disminuyen las pérdidas, quizá debido al progresivo agotamiento de nutrientes.

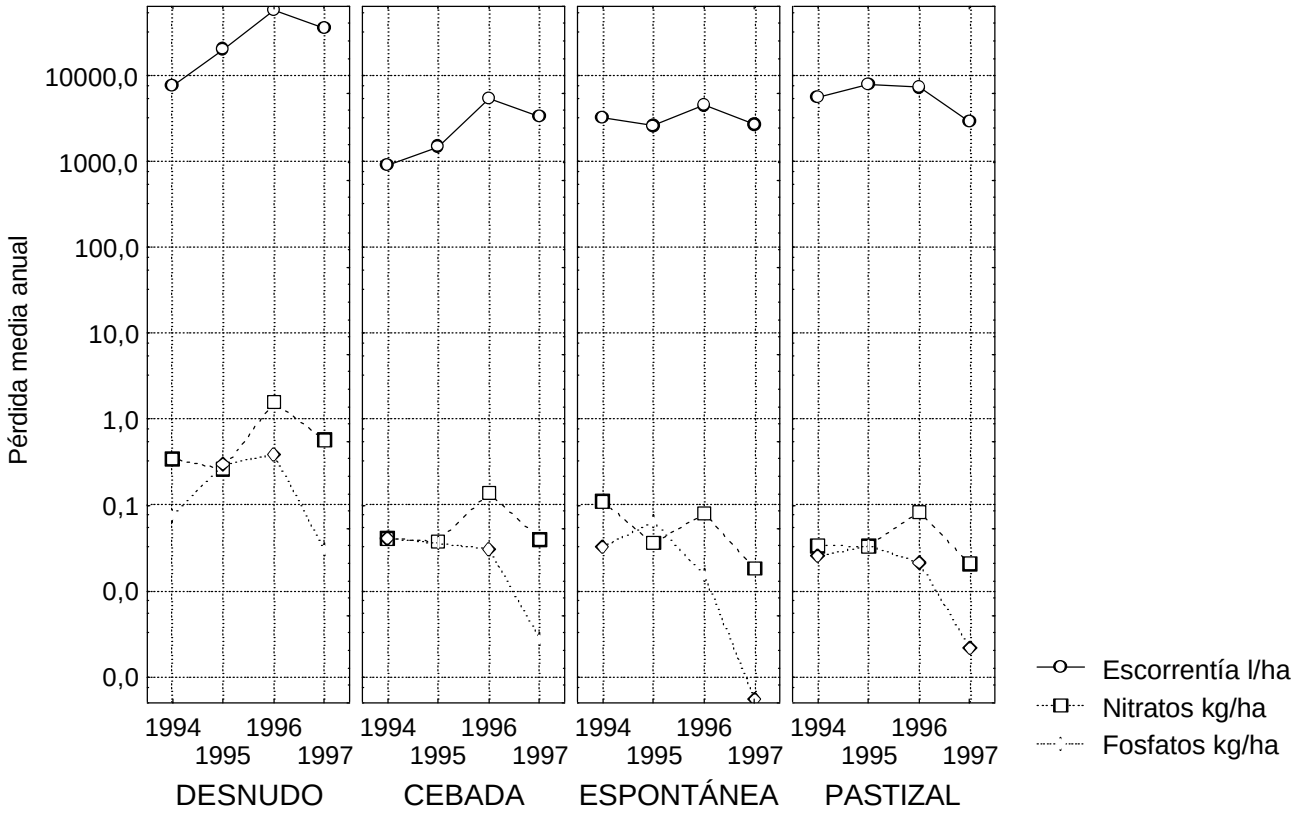

Figura 1.

Evolución de los valores medios del volumen de escorrentía (l/ha) y de sedimentos (kg/ha) en cada tipo de uso de suelo a lo largo del periodo de estudio.

Aunque la media de pérdidas de nutrientes es mayor en las parcelas de cebada, mediante el test de Kolmogorov-Smirnov únicamente se puede afirmar que éstas pierden más nitratos, sodio y potasio que las de pastizal ($p < 0.025$; $p < 0.01$ y $p < 0.01$ respectivamente) y más nitratos, fosfatos y potasio que las de vegetación espontánea ($p < 0.025$; $p < 0.005$ y $p < 0.005$ respectivamente).

Este test no es capaz de detectar diferencias entre parcelas de vegetación espontánea y pastizal en lo que se refiere a pérdidas de nutrientes arrastrados por escorrentía. No obstante, hay algunas diferencias que se pueden apuntar. Las correlaciones de Spearman (Tabla 4) que se han realizado para cada tipo de cubierta arrojan los siguientes resultados: las correlaciones de menor entidad corresponden siempre a los fosfatos, esto concuerdan con el hecho de que el ciclo del fósforo está más relacionado con el suelo que con el agua debido a su escasa solubilidad y a su afinidad por las partículas del suelo. Para los nitratos, con correlaciones más elevadas, y significativamente diferentes según el tipo de cubierta, el orden de magnitud de las pérdidas es: suelo desnudo > cebada > pastizal = vegetación espontánea. No hay diferencias significativas en las pérdidas de cloruros. La mayor correlación se produce con los bicarbonatos, lo que evidencia su solubilidad y, en consecuencia, su elevada tendencia a abandonar el suelo arrastrados por el agua de escorrentía con independencia del tipo de cubierta.

Tabla 4

Correlaciones de Spearman que se establecen entre la escorrentía y el sedimento y los correspondientes nutrientes arrastrados por ellos en los distintos tipos de usos del suelo (R= valor de la correlación; n= número de datos válidos para el análisis de correlación; $p < 10^{-3}$)

Nutrientes	*DESNUDO*		*CEBADA*		*ESPONTÁNEA*		*PASTIZAL*	
	n	R	n	R	n	R	n	R
				Volumen de Escorrentía				
Nitratos	143	0,85	131	0,63	141	0,42	139	0,44
Fosfatos	142	0,56	134	0,47	142	0,19	138	0,38
Cloruros	62	0,95	55	0,76	59	0,72	62	0,70
Bicarbonatos	61	0,97	54	0,92	60	0,81	61	0,78
Calcio	141	0,93	131	0,85	139	0,67	139	0,65
Magnesio	142	0,92	133	0,86	141	0,65	140	0,57
Sodio	141	0,91	134	0,80	141	0,62	139	0,61
Potasio	133	0,93	123	0,77	134	0,55	134	0,53
				Peso de Sedimento				
Materia orgánica	161	0.96	156	0.89	161	0.95	151	0.96
Fósforo	148	0.97	142	0.93	149	0.93	130	0.96
Calcio	119	0.98	110	0.91	100	0.96	104	0.97
Magnesio	119	0.98	110	0.91	100	0.97	104	0.97
Sodio	119	0.93	110	0.87	100	0.96	104	0.96
Potasio	121	0.96	110	0.92	100	0.97	104	0.96

En lo que se refiere a los cationes de cambio, todos tienen un comportamiento similar. En el suelo desnudo las correlaciones con el volumen de escorrentía son superiores en todos los casos al 0,9; disminuyen cuando la cubierta es de cebada y disminuyen aún más en las cubiertas de vegetación espontánea y pastizal. La figura 2 representa como ejemplo la relación que existe entre el volumen de escorrentía y el potasio. En la figura se muestran los valores de potasio que se han detectado en un volumen de escorrentía determinado en cada fecha de muestreo en los distintos tipos de cubierta y en cada año, desde 1994 a 1997. La relación directa se va acentuando en el suelo desnudo, donde se dan los mayores volúmenes de escorrentía y las mayores pérdidas de potasio, con correlaciones superiores a 0.87. En suelo desnudo, se perdió de media entre las localidades, un total de 10.40 kg ha^{-1} de potasio. Algo similar ocurre en el suelo cubierto de cebada, dónde aunque disminuye el volumen de escorrentía generado, se mantiene una mayor relación con las pérdidas de potasio, que en el caso de las cubiertas de vegetación espontánea y el pastizal. Las parcelas de cebada perdieron 1.83 kg $ha^{-1,}$ de media entre las localidades, mientras que las de vegetación espontánea y pastizal perdieron respectivamente 1.19 y 1.03 kg ha^{-1}. En estos dos últimos casos, las correlaciones son menores al igual que su significación estadística.

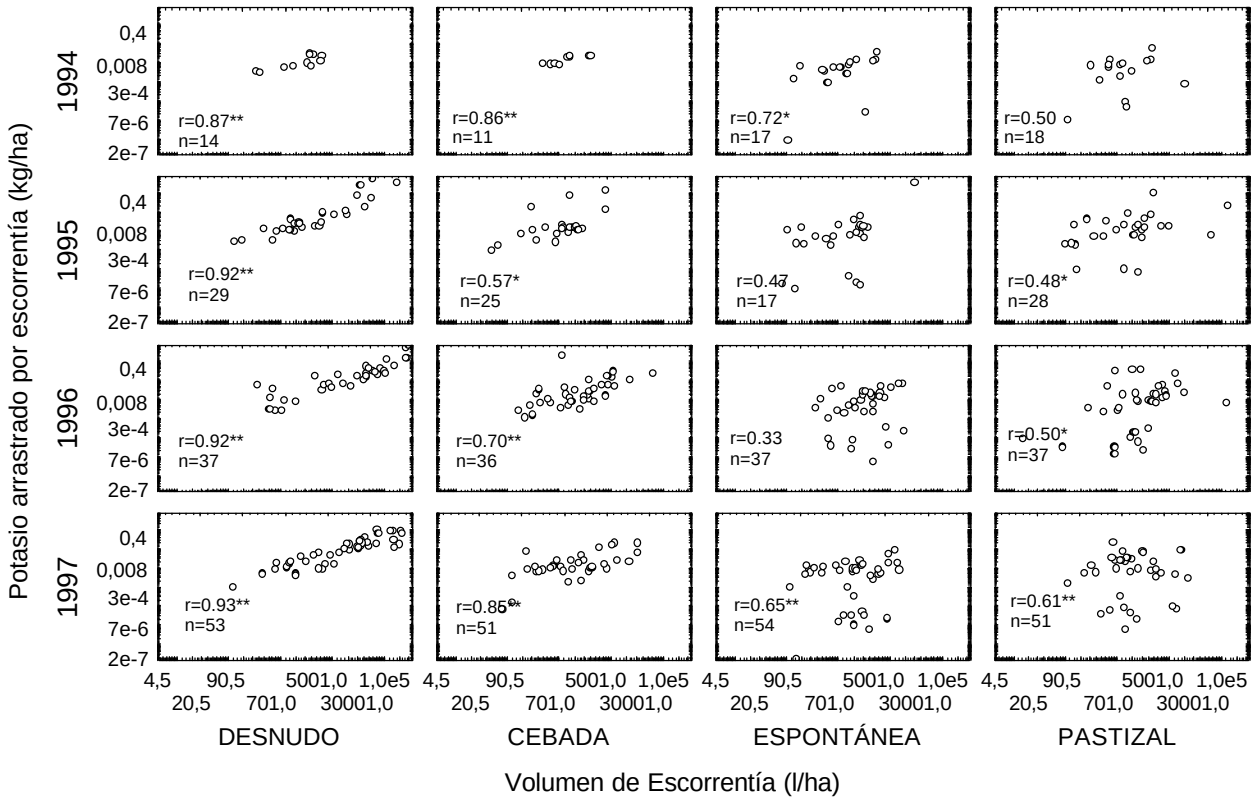

Figura 2.

Relación ente el volumen de escorrentía y el potasio perdido en el agua para cada tipo de cubierta vegetal en los años 1994 al 1997. Correlaciones de Spearman. (** = $p<0.001$ y * = $p < 0.01$)

La tabla 5 expresa la pérdida total de nutrientes en los sedimentos. De nuevo en el suelo desnudo se producen las mayores pérdidas tanto de sedimento como de nutrientes a él asociados.

Tabla 5

Resumen de la pérdida total de nutrientes en el sedimento en todo el periodo estudiado (1994-1997).

Localidad	*Tipo de cubierta del suelo*	*Sedimento*	*Iones de cambio*				*Sales en disolución*	
			Ca	*Mg*	*Na*	*K*	*Materia orgánica*	*Fósforo asimilable*
		kg ha^{-1}						
El Encín, Madrid								
	Desnudo	29582	79,87	4,34	5,47	7,38	503	0,99
	Cebada	439	1,03	0,08	0,09	0,23	9,8	0,03
	Espontánea	199	0,10	0,01	0,01	0,02	5,7	0,01
	Pastizal	3190	0,39	0,04	0,04	0,08	75	0,01
Aranjuez, Madrid								
	Desnudo	41501	127,77	7,21	9,79	13,63	1768	3,73
	Cebada	3724	6,29	0,26	0,24	0,49	220	0,35
	Espontánea	2361	5,10	0,32	0,50	0,77	106	0,16
	Pastizal	9982	35,92	1,87	2,29	4,42	507	0,40
Marchamalo, Guadalajara								
	Desnudo	111304	517,98	27,35	32,60	45,30	1545	5,20
	Cebada	310	0,73	0,06	0,09	0,17	8,1	0,04
	Espontánea	194	0,56	0,04	0,09	0,06	5,0	0,01
	Pastizal	177	0,46	0,04	0,07	0,09	4,4	0,01
Albadalejito, Cuenca								
	Desnudo	8338	18,47	1,55	1,56	3,33	348	0,51
	Cebada	164	0,25	0,03	0,04	0,05	3,3	0,02
	Espontánea	107	0,16	0,01	0,02	0,01	5,5	0,01
	Pastizal	137	0,16	0,01	0,03	0,07	4,6	0,01

Debido a las diferencias encontradas entre algunas localidades (tabla 6), es conveniente hacer interpretaciones independientes.

Tabla 6

Resultados del test de Kolmogorov-Smirnov para valorar la significación de las diferencias de peso de sedimento en cada localidad.

	Peso de sedimento (kg ha^{-1})			
Tipo de cubierta	El Encín n = 207	Aranjuez n = 160	Marchamalo n = 196	Albadalejito n = 128
El Encín	-			
Aranjuez	p <0,025	-		
Marchamalo	p > 0,10	p < 0,05	-	
Albadalejito	p > 0,10	p > 0,10	p > 0,10	-

Las diferencias más importantes las presenta la localidad de Aranjuez, cuyas pérdidas tanto de sedimento como de materia orgánica, fósforo (Olsen) y bases de cambio son significativamente superiores a las correspondientes a El Encín y Albadalejito. Con respecto a Marchamalo, estas diferencias significativas tan sólo se han registrado con respecto al peso de sedimento, materia orgánica, fósforo y calcio.

Haciendo estas salvedades, en todas las localidades hay mayores pérdidas de sedimento y nutrientes en las parcelas con suelo desnudo que en el resto, e igualmente, no es posible establecer diferencias entre las parcelas de vegetación espontánea y pastizal.

En cuanto a las parcelas cultivadas con cebada, los resultados son muy heterogéneos en las distintas localidades, acusándose el efecto de los abonos recibidos.

La figura 3 representa la media de las variaciones anuales del sedimento arrastrado, la materia orgánica y el fósforo en las cuatro localidades. Se aprecia que la magnitud de las pérdidas es siempre mayor en el suelo desnudo y que los dos últimos años las pérdidas tienden a disminuir sobre todo en las parcelas con vegetación espontánea y pastizal.

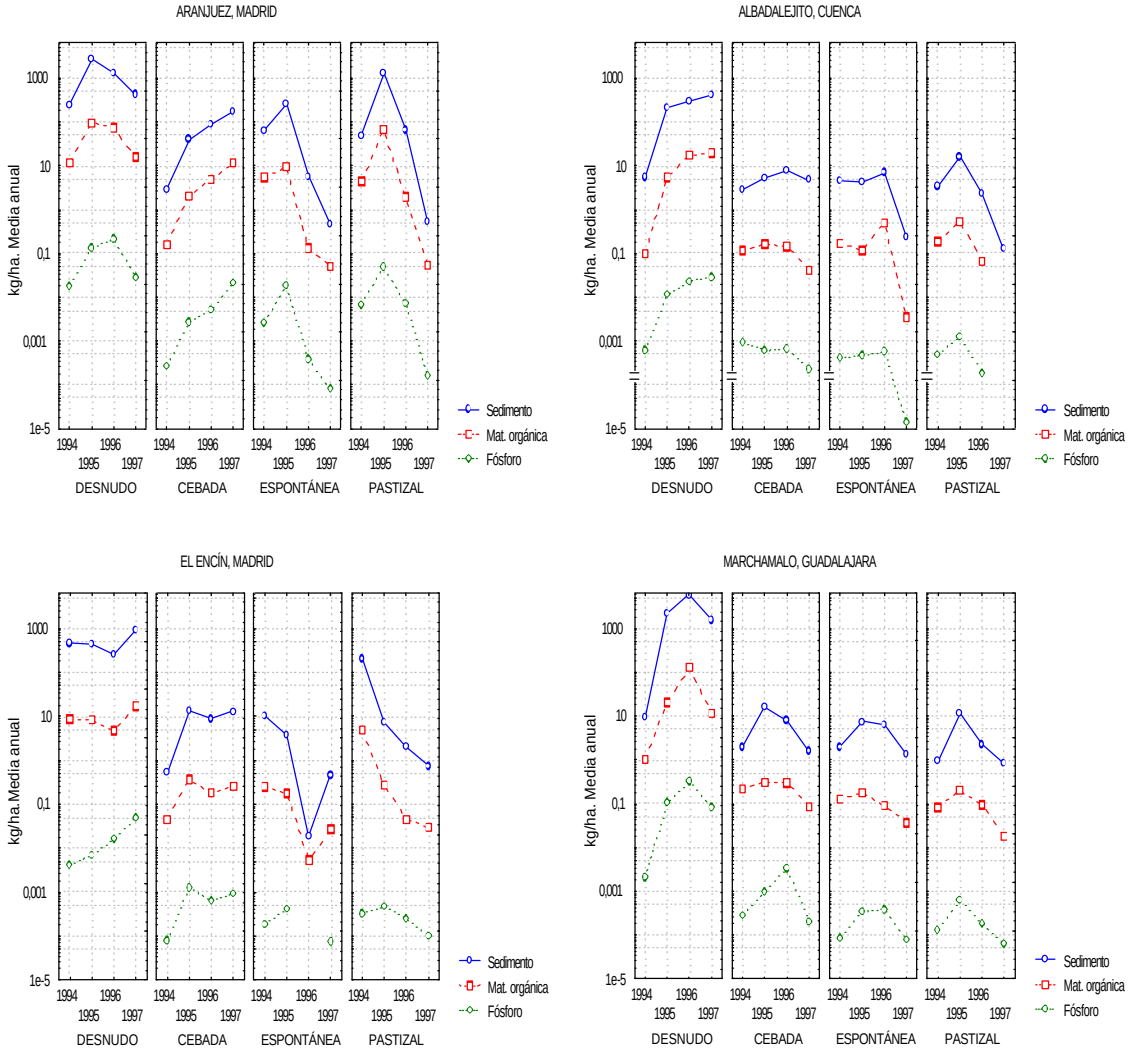

Figura 3.

Evolución de las cantidades medias anuales de sedimento arrastrado, materia orgánica y fósforo en las cuatro localidades estudiadas.

En las parcelas de cebada no se aprecia una tendencia clara sino que las pérdidas bajan ligeramente en Albadalejito y Marchamalo y se mantienen más o menos estables en El Encín. En Aranjuez estas pérdidas aumentan progresivamente a medida que transcurren los años del estudio. Estas diferencias detectadas pudieran ser debidas al abonado periódico a que fue sometido este cultivo.

En la localidad de El Encín, las pérdidas de sedimento, y nutrientes asociados, siguen subiendo cada año en el suelo desnudo, por el contrario, en el pastizal experimentan un descenso paulatino. En esta localidad no se aprecia el efecto de la mayor pluviosidad de los dos últimos años del estudio, probablemente debido a la menor pendiente en comparación a las demás.

Por último cabe destacar que las pérdidas de nutrientes están más correlacionadas con el sedimento que con el agua de escorrentía. La tabla 4 muestra los valores de estas correlaciones, si bien las cubiertas de pastizal y vegetación espontánea eran

capaces de frenar la pérdida de cationes arrastrados por el agua de escorrentía, no influyen en las pérdidas de los mismos cuando van asociados al sedimento.

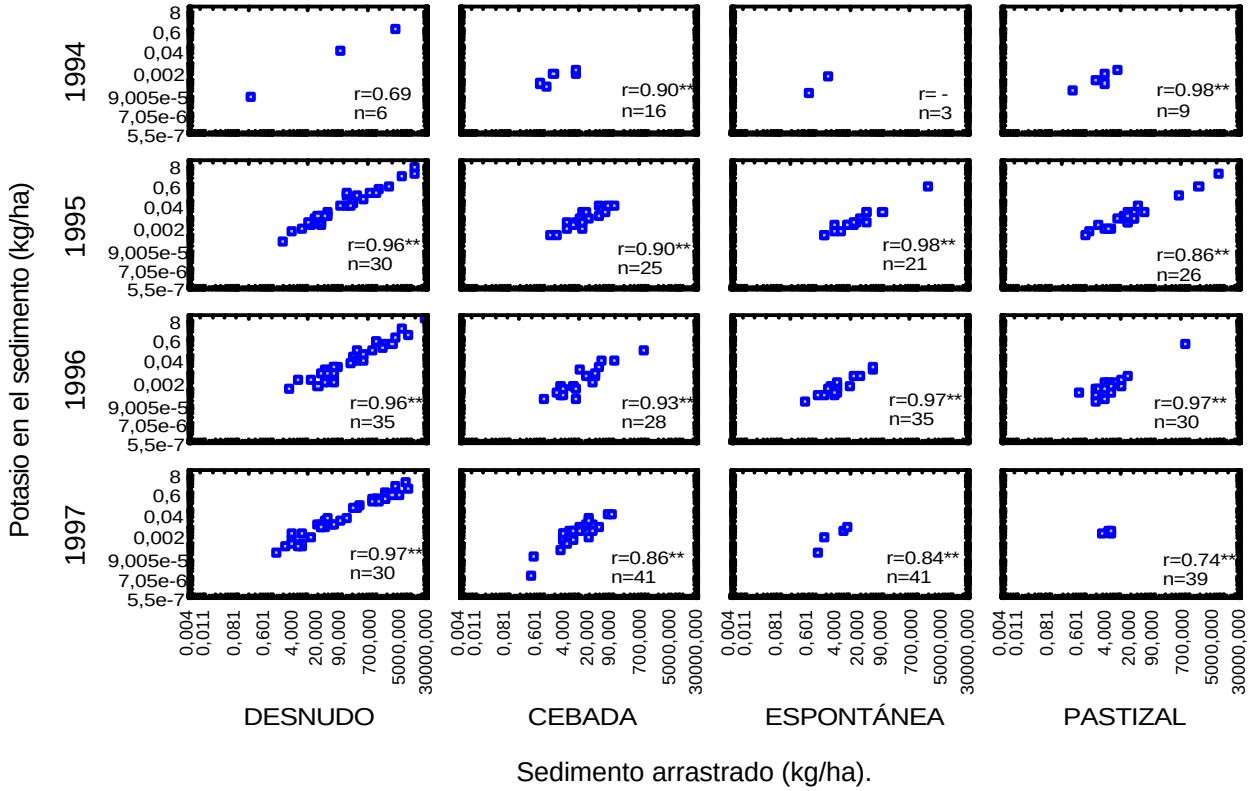

Figura 4.

Relación ente el peso de sedimento y el potasio de cambio perdido para cada tipo de cubierta vegetal en los años 1994 al 1997. Correlaciones de Spearman. (** = $p<0.001$ y * = $p < 0.01$)

Este hecho puede apreciarse claramente en la figura 4, en la que se muestra cómo, independientemente del tipo de cubierta, la relación entre sedimento arrastrado y potasio perdido sigue una línea que indica la relación directamente proporcional. No se ha podido establecer una relación entre el volumen de escorrentía y las pérdidas de fósforo como se plantea en otros trabajos (Sharpley et al, 1996), y sí con la cantidad de fósforo en el suelo.

CONCLUSIONES

Se ha observado una asociación estrecha entre la pérdida de sedimento y nutrientes, más importante que la que existe entre los nutrientes y el agua de escorrentía. Esto es especialmente cierto para los cationes de cambio y el fósforo.

Se demuestra una vez más la gran influencia que ejerce la existencia de cubierta vegetal en la fuga de nutrientes.

La cubierta de cebada supone una gran protección del suelo, en comparación con el suelo desnudo, dado que reduce la escorrentía en un 90,8 %, frente al 89,6 % y 82,1%

de la vegetación espontánea y el pastizal. Igualmente suponen una barrera a la pérdida de sedimento, reduciendo en un 97,6 %, 98,5% y 92,9 % el sedimento arrastrado las cubiertas de cebada, vegetación espontánea y pastizal, respectivamente, con respecto al suelo desnudo.

Existe una elevada correlación entre los nutrientes arrastrados con los sedimentos y el peso total éstos, con independencia del tipo de cubierta vegetal. Cuando se analiza la cantidad de nutrientes disueltos en el agua de escorrentía y el volumen de la misma, las correlaciones son igualmente altas para el caso del suelo desnudo, pero en las parcelas con cobertura vegetal, son menores y muy variables, en función del nutriente que se considere.

Se ha podido establecer que las cubiertas de pastizal y de vegetación espontánea son más eficaces en la retención de nutrientes que las de cebada, pues éstas pierden más nitratos, sodio y potasio que las de pastizal y más nitratos, fosfatos y potasio que las de vegetación espontánea. Esto último bien pudiera ser consecuencia del abonado al que fue sometido el cultivo de cebada.

En el periodo estudiado de 4 años (1994-1997) y con la climatología que ha tenido lugar, no ha sido posible establecer diferencias significativas entre las parcelas de pastizal y de vegetación espontánea, quizá este plazo sea insuficiente para evaluar estas posibles diferencias.

BIBLIOGRAFÍA

Bienes, R.; Guerrero-Campo, J.; Aroca, J.A.; Gómez, B.; Nicolau, J.M. y Espigares, T. 2001. Evolución del coeficiente de escorrentía en campos agrícolas del centro de España con diferentes usos del suelo. Ecología, 15: 23-36.

Daniel T.C.; A.N. Sharpley; J.L. Lemounyon and J.T. Sims, 1997. Agricultural Phosphorus and Eutrophication: An Overview. Dept. of Agronomy. Univ. of Arkansas. Fayetteville, AR.

Elías, F. y Ruiz, L, 1977. Agroclimatología de España. INIA. Madrid.

Felipó, M.T. y Garau, M.A., 1987. La contaminació del sòl: process de degradació del medi edàfic I de l'entorn. Auqderns d'Ecologia Aplicada, 12. Diputació de Barcelona, Servei del medi Ambient, 85 p.

García Ruiz, J. M. & Lasanta, T. (eds.) 1994. Efectos geomorfológicos del abandono de tierras. Sociedad Española de Geomorfología. Zaragoza.

Killorn, R. 1990. *Trends in Soil Test P and K in Iowa*, Paper Presented at the 20th North Central Extension-Industry Soil Fertility Workshop, 14-15 November, Bridgeton, MO.

Kosmas, C; Danalatos, N.; Cammeraat, L.H.; Chabart, M; Diamantopoulos, J.; Farand, R.; Gutierrez, L.; Jacob, A.; Marques, H; Martínez-Fernández, J.; Mizara, A.; Moustakas, N; Nicolau, J.M.; Oliveros, C.; Pinna, G; Puddu, R.; Puigdefábregas, J.; Roxo, M.; Simao, A.; Stamou, G; Tomasi, N.; Usai, D. y Vacca, A. 1997. The effect of land use on runoff and soil erosion rates under Mediterranean conditions. Catena, 29: 45-59.

Lasanta, T., & García-Ruiz, J. M. (ed.). 1996: Erosión y recuperación de tierras en áreas marginales. Instituto de Estudios Riojanos. Sociedad Española de Geomorfología. Logroño.

Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA) 1994. Métodos oficiales de análisis. Tomo III. Secretaría General Técnica. Madrid.662 pp.

NADP/NTN. Nacional Atmospheric Deposition Program (NRSP-3)/ Nacional Trnes Network, 1998. NADP/NTN Coord. Office. Illinois State Water Survey.

Novais, R., and E.J. Kamprath. 1978. Phosphorus Supplying Capacities of Previously Heavily Fertilized Soils. *Soil Science Society of America Journal*, 42:931-935.

NRCBA. Nacional Research Council Board on Agriculture, 1993. Soil and Water Quality: An Agenda for Agricultura. National Academy Press., Washington, DC.

Porta, J.; López-Acevedo, M. y Roquero, C., 1994. Edafología para la agricultura y el medio ambiente. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, 807p.

Rowden, R.D.; R. D. Libra and G.R. Hallberg, 1995. Surface water onitoring in the Big Spring basin, 1986-1992: a summary review. Geological Survey Bureau Technical Information Series 33. Iowa Department of Natural Resources. Des Moines. IA.

Sala M.; Rubio, J.L. y García Ruíz J.M.(Eds.) (1991): Soil erosion studies in Spain. Geoforma. Logroño

Sendra, J.; Pomares, F.; Estela, M. y Tarazona, F., 1993. Efecto de distintas dosis de nitrógeno, fósforo, potasio y fraccionamiento del nitrógeno en el cultivo del arroz en Valencia. Agricola Vergel, XII, 136: 188-196.

Sharpley, A.N.; T.C. Daniel; J.T. Sims and D.H. Pole, 1996. Determining environmentally sound phosphorus levels. Journal of Soil and Water Conservation: 51(2): 160-166.

Sims, J.T. 1992. Environmental management of phosphorus in agricultural and municipal wastes. In *Future Directions for Agricultural Pollution Research*, ed. F.J. Sikora. Tennessee Valley Authority, Muscle Shoals, AL. Bulletin Y-224.

Sturgul, S. J. Daniel, T. C. Mueller, D. H. 1990. Tillage and canopy cover effects on interrill erosion from first-year alfalfa. Soil Sci. Soc. Am. J. 54: 1733-1739.

Yoo, K. H. & Rochester, E. W. 1989. Variation of runoff characteristics under conservation tillage systems. Transactions of the ASAE 32: 1625-1630.

View publication stats