

## ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DE LA COBERTURA VEGETAL VIVA EN OLIVAR EN LA CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS DE ESCORRENTÍA POR NITRATOS

A. Rodríguez-Lizana<sup>1</sup>, R. Ordóñez<sup>2</sup>, A.J. Espejo<sup>1</sup>, P. González<sup>2</sup> y J.V. Giráldez<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Asociación Española de Agricultura de Conservación/Suelos Vivos. CIFA Alameda del Obispo. Edificio CIFA 3. IFAPA. Junta de Andalucía. 14080. Córdoba; arodriguez@aeac-sv.org ; aespejo@aeac-sv.org

<sup>2</sup> Departamento de Recursos Naturales y Producción Ecológica. CIFA Alameda del Obispo. IFAPA. Edificio CIFA 1. Junta de Andalucía. 14080. Córdoba; rafaella.ordonez.ext@juntadeandalucia.es ; pedrogonzalezfernandez@juntadeandalucia.es

<sup>3</sup> Departamento de Agronomía. Universidad de Córdoba; aglgicej@uco.es

**RESUMEN.** Se compara el efecto de dos sistemas de manejo de suelo, cubierta vegetal y laboreo convencional, en la pérdida de nitrato en agua de escorrentía con una red de ocho campos experimentales establecida en Andalucía, durante el periodo Junio 2003-Junio 2004. La escorrentía, directamente relacionada con el transporte de este nitrato, disminuye significativamente en 6 de las 8 parcelas con la implantación de cobertura viva, una media de un 16% en la red experimental. El incremento de materia orgánica que tiene lugar en superficie con cobertura respecto al sistema de laboreo convencional da lugar a dos patrones de comportamiento del contenido de nitrato en superficie y de las pérdidas del anión respecto al porcentaje de cobertura. La cubierta vegetal reduce la pérdida anual del anión en 7 de los 8 campos analizados una media de un 40%, y un máximo del 67%, de forma significativa tanto en las parcelas abonadas ( $p=0,02$ ) como en las que no lo están ( $p=0,06$ ). Las reducciones cobran mayor importancia en las parcelas abonadas (media del 61%) que en las restantes (26%). La tasa de transferencia del contaminante a la escorrentía presenta resultados muy variables según la parcela, oscilando entre 0,03 a 1,43 Kg  $\text{NO}_3^- \text{ha}^{-1} \text{L}^{-1}$ . Los resultados sugieren que las cubiertas vegetales vivas resultan eficientes para disminuir la contaminación por nitratos de las aguas superficiales y la pérdida de agua por escorrentía.

**ABSTRACT.** It is compared the effect of two different soil management systems, plant cover and conventional tillage, in the nitrate losses in runoff water on a net composed by eight experimental fields located in Andalusia during the period June 2003-June 2004 in order to quantify the influence of the management system over the pollutants dispersion in the environment. Runoff, with a direct relationship with the transport of nitrate, significantly decreases in 6 of the 8 plots when plant cover is introduced (average 16%). The organic matter increase that take place in the surface with cover crop in comparison with the conventional tillage give rise to two behavior patterns of the surface nitrate and of the losses of this anion depending on the cover percentage. Plant cover reduces an average 40% the annual losses of this anion in 7 of the 8 analyzed fields

in both fertilized plots ( $p=0.02$ ) and not fertilized plots ( $p=0.06$ ). Reductions are higher in the fertilized plots (61% average) than in the others (26%). Transference rate of the pollutant to runoff water is very variable depending on the plot, oscillating from 0,03 to 1,43 Kg  $\text{NO}_3^- \text{ha}^{-1} \text{L}^{-1}$ . Results suggest that living plant covers are efficient to diminish nitrate contamination in surface water and runoff water losses.

### 1. Introducción

El estudio del efecto del sistema de manejo de suelo sobre la pérdida de N por un agroecosistema puede resultar tema de interés tanto por el ahorro de inputs que supone en la práctica agrícola como por la disminución de la contaminación y eutrofización ambiental a que puede conducir. Desde un punto de vista agronómico, las pérdidas de  $\text{NO}_3^-$ , así como las de otros elementos, representan una merma de nutrientes para el sistema a la que el agricultor no suele conceder ninguna importancia dado el precio de venta de los fertilizantes. En cambio, desde un punto de vista ambiental, estas pérdidas pueden suponer un deterioro en la calidad de las aguas.

Las aportaciones de nitrato procedente de suelos agrícolas asociadas a los procesos de erosión y escorrentía son, junto con los plaguicidas, los elementos principales y más peligrosos de la contaminación agraria difusa (Davenport, 1994). Las descargas de estos elementos pueden producirse por su movimiento en aguas de drenaje o bien mediante procesos de erosión-escorrentía (Sharpley, 1993).

Son numerosos los estudios de pérdida de  $\text{NO}_3^-$  en disolución en distintos cultivos (Douglas et al. 1998; Fleming y Cox, 1998), pero escasos en el olivar, cultivo en el que el nitrato se erige como principal contaminante de las aguas de escorrentía por las prácticas tradicionales de fertilización, que se basan en un abonado exclusivamente nitrogenado la mayoría de las veces, aplicado a final de invierno-principios de primavera, y que en muchas ocasiones permanece en superficie.

Las cubiertas vegetales pueden resultar de utilidad en la reducción de la dispersión de contaminantes en disolución, pues disminuyen el flujo total de escorrentía (Giráldez, 1998; Holland, 2004; Rodríguez-Lizana et al. 2004). Por otra parte, la cantidad de nitrógeno soluble en el agua de escorrentía es muy dependiente del sistema de manejo de suelo (Richardson y Knight, 1995; Douglas et al. 1996). Los sistemas con cobertura retienen el nitrato del suelo en periodo lluvioso, inmovilizándolo, y lo liberan vía mineralización, tras la muerte de la cubierta.

La pérdida de  $\text{NO}_3^-$ , P y materia orgánica, que implica disminución de la fertilidad natural de los suelos, es un problema importante en este cultivo, que se acentúa en el olivar ecológico, en el que no es posible la utilización de abonos de síntesis, y en el que se realiza parte del estudio. Respecto a este sistema de cultivo, y como afirman Korsaeht y Eltum (2000), para que sea sostenible no sólo debería mantener un adecuado nivel de nitrógeno en el suelo sino también minimizar las pérdidas de dicho elemento en escorrentía. Por ello, en un sistema ecológico se hace muy recomendable la implantación de una cubierta vegetal que minimice las pérdidas de nutrientes (Labrador, 2002).

La influencia del sistema de manejo de suelo se manifiesta en las diferentes tasas de infiltración y respuesta del mismo ante los eventos pluviométricos, así como en la evolución del contenido de  $\text{NO}_3^-$  en el suelo a lo largo del año. En este trabajo se describen y cuantifican las pérdidas de  $\text{NO}_3^-$  en agua por escorrentía en los sistemas de laboreo convencional y cobertura vegetal viva en olivar en una red de ocho campos experimentales distribuidos por la geografía andaluza, lo cual permite la estimación del potencial contaminante de los distintos suelos en ambos sistemas de manejo.

## 2. Material y Métodos

### 2.1. Ensayos de campo

Se ha trabajado con trampas de sedimentos en una red de 8 parcelas de olivar localizadas en las provincias de Córdoba (Castro del Río, parcela C3; Nueva Carteya, C4 y Obejo, C5), Huelva (Chucena, 2 parcelas, H1 y H2), Sevilla (La Campana, S2) y Jaén (Torredonjimeno, J1 y Torredelcampo, J2). El experimento se ha diseñado según un modelo factorial de bloques completos al azar con medidas repetidas, con 3 factores que corresponden a sistema de manejo de suelo (2 niveles: laboreo convencional y cubierta vegetal), tiempo y finca, y 3 repeticiones por cada parcela de estudio.

La unidad experimental es una microparcela cuadrada de 1 m<sup>2</sup>, elección motivada por el elevado número de trampas instaladas (48), y por su facilidad de transporte y montaje. Se constituye de tres chapas cuadrangulares de acero galvanizado de 2 mm de espesor, con perfiles angulares en las esquinas que favorecen la inserción de la trampa en el suelo y fijan los bordes consiguiendo una unión hermética.

La parte frontal de la trampa tiene forma triangular, y posee un orificio de salida que conduce el agua a través de

una goma flexible a la cisterna colectora, bidón cilíndrico de polietileno de 25 L de capacidad. En algunas parcelas se han dispuesto dos en serie. Para evitar la obturación del conducto que transporta el agua de escorrentía se dispone una malla en el orificio de salida de la trampa.

Puesto que algunos de los suelos del estudio son arcillosos, y pueden comprimir la cisterna -no permitiendo así sacarla tras un evento de lluvia para tomar las muestras-, se ha dispuesto un tubo metálico hueco de acero galvanizado de 31,5 cm de diámetro a semejanza de Díaz (2002), para que sirva de pantalla protectora de la misma, de forma que sea fácilmente extraíble. Debido a los problemas de infiltración y presencia de capas colgadas que presentan algunos suelos donde se localiza el estudio, en algunas ocasiones el bidón tras una lluvia intensa y como consecuencia del empuje del agua ha ascendido hasta la superficie. Para evitarlo se han realizado unos taladros en la parte superior de la pantalla protectora a fin de poder introducir por los mismos una cadena anclada con mosquetones, y contrarrestar así la fuerza del agua. En otros casos en los que la anterior medida ha sido insuficiente se han depositado piedras sobre el bidón.

En cada parcela se ha instalado un pluviómetro. Cada vez que tiene lugar un episodio de lluvia se viaja a campo, midiendo la cantidad de agua precipitada y el volumen de agua de escorrentía recogido en cada cisterna colectora, agitándola antes enérgicamente, y tomando una muestra de aproximadamente tres litros de esta última en frascos de polipropileno, preparando y limpiando los recipientes para el siguiente evento. Igualmente, se realiza un seguimiento de la evolución de la cobertura vegetal del suelo, según el método de valoración subjetiva por sectores desarrollado por Agrela (2003).

El manejo de la cubierta es distinto para cada finca, pues el agricultor lo realiza acorde a sus necesidades, por lo que la época de siega, su tipo, su posible realización y la fecha y tipo de abonado son diferentes para cada una de ellas. El laboreo en el interior de las trampas de los suelos manejados de forma convencional se efectúa en las visitas a campo acorde al estado de la vegetación y a las prácticas de la zona. Se realiza a una profundidad de 10-15 cm con una azada. En ocasiones es necesario proceder a hundir ligeramente en el suelo la parte frontal de la trampa. Ésta debe estar al nivel del suelo pues, si su altura es superior a aquél, la cantidad recogida de suelo se reducirá al quedar atrapado en el umbral.

Las parcelas C3, C4, C5 practican agricultura ecológica. No realizan aportaciones en superficie, con la excepción de C4, que en ocasiones esporádicas esparce hoja de limpia de la cooperativa, lo cual no ha tenido lugar en el periodo de estudio. En C3 se procede a la inyección de vinaza, que no se realiza en el interior de la microparcela por imposibilidad física. Pensamos que ello no tiene mucha importancia pues la inyección se realiza a una profundidad de unos 20 cm, acompañada de una labranza. C5 no realiza abonado. En J2, H1 y H2 se utiliza un manejo convencional del abonado. Las dos últimas sólo aportan nitrógeno al suelo, realizando la fertilización fosfatada por vía foliar. J1 y S2 se comportan como ecológicas a efectos del estudio, pues en la primera de ellas, al igual que C3, se realiza inyección de

nutrientes, lo cual no puede hacerse en el interior de la trampa, y S2 fertilirriega. Las características de las fincas se describen en Rodríguez-Lizana et al. (2004) y las unidades fertilizantes de nitrógeno (UFN) aportadas se indican en la Tabla 2.

## 2.2. Análisis de laboratorio

Las muestras obtenidas se conservan a 4° C. Posteriormente se filtra una alícuota para la determinación de la concentración de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> en disolución en la trampa correspondiente. Los procedimientos de análisis se exponen en Page (1982).

## 2.3. Análisis estadístico

Para evaluar las diferencias entre pérdidas de nitrato en disolución se ha realizado una prueba W de Wilcoxon de muestras relacionadas (contraste unilateral) entre los resultados globales de cada parcela experimental a lo largo del periodo de estudio. Posteriormente, se realiza otra prueba W a los resultados globales de las parcelas con abono químico y las ecológicas separadamente. Se indican las probabilidades límite obtenidas.

**Tabla 1.** Prácticas de abonado en las distintas parcelas. ND: no determinable. C y N indican con cubierta vegetal (C) y laboreo (N).

Parcela	Fecha de abonado	UFN/ha	Total UFN/ha	Pérdida tras abonado/UFN (%)		Árboles/ha
				C	N	
C3	-	0	0	-	-	156
C4	-	0	0	-	-	204
C5	<sup>1</sup>	ND	ND	-	-	<60 <sup>2</sup>
J1	-	0	0	-	-	100
J2	Ppios Nov. 03	22,2	77,7	0,63	3,88	69
	22 Marz 04	55,5		1,49	1,47	
S2	-	0	0	-	-	208
H1	14 Enero 04	136,5	136,5	2,35	6,79	208
H2	14 Enero 04	136,5	136,5	2,78	11,91	208

## 3. Resultados

La cubierta vegetal contribuye a la reducción de la pérdida de agua por escorrentía, factor determinante en la pérdida de nutrientes y contaminantes disueltos. La Fig. 1 muestra la escorrentía obtenida en las distintas parcelas. Puede observarse que únicamente en dos de las ocho se obtiene una escorrentía superior con cubierta vegetal, y en cantidades que resultan apenas mayores que en laboreo convencional. La reducción media en la escorrentía

propiciada por el sistema conservacionista es del 23,5%. El ajuste obtenido hace pensar que para una finca dada altas escorrentías con laboreo convencional se ven comparativamente más atenuadas con el sistema de cubierta que escorrentías pequeñas. Ello puede ser así porque altas escorrentías, muchas veces asociadas a precipitaciones elevadas, pueden dar lugar a la formación de sello, lo cual incrementará en gran medida la escorrentía en laboreo respecto a la de cubierta. Por otra parte, en LC tiene lugar una disminución de la velocidad de infiltración muy superior a la que acaece con cubierta (Saavedra y Pastor, 2002). Los sistemas con cubierta son mucho más estables ante la modificación de dicha velocidad.

Se ha encontrado relación entre el porcentaje de cubierta y la pérdida en solución de NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, tanto para el sistema de laboreo convencional como con cubierta, así como entre aquélla y el contenido del anión en suelo, para lo cual se ha muestreado la profundidad 0-3 cm. Se han excluido de las figuras las parcelas con aportación de fertilizante químico, como son J1, H1 y H2, seleccionando únicamente las parcelas que no han aportado abono al suelo, puesto que la fertilización o no de las parcelas es una variable que no se ha considerado en estas figuras, que buscan determinar el comportamiento del nitrato en el sistema únicamente bajo presencia o ausencia de cubierta. En una parcela que no reciba abono, las variaciones de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> pueden provenir únicamente de la mineralización de la cubierta y la materia orgánica (excepcionalmente, en C5 el ganado puede tener influencia).

La Fig. 2 muestra dos patrones según el sistema de manejo de suelo. Bajo laboreo convencional puede apreciarse cómo el incremento del porcentaje de cubierta supone una disminución de la cantidad de nitrato en la capa superficial del suelo, lo cual puede explicarse por la extracción de la cubierta, que reduce el contenido del anión en superficie susceptible de contaminar las aguas de escorrentía. Debe tenerse en cuenta que en muchas de las ocasiones el porcentaje cubierto en LC no estaba integrado por mulch (como sí ocurre en el sistema de cubierta vegetal a partir de Marzo-Abril) sino por maleza viva que detrae nutrientes del suelo. Altos porcentajes de cubierta en el sistema de laboreo corresponden en ocasiones a la época de recolección, pues mientras ésta tiene lugar no se realiza laboreo, o bien a un periodo lluvioso primaveral con rápido crecimiento de las malezas.

En cambio, con cubierta vegetal viva, el contenido de nitrato en suelo es generalmente menor por la extracción que realiza la cubierta, y presenta un patrón diferente, con menor variabilidad en los contenidos del nutriente en suelo. De esta manera, la cubierta inmoviliza los nutrientes de la superficie, a la par que contribuye a disminuir la escorrentía, por lo que contribuye a la reducción de la dispersión de contaminantes al ambiente. No se observa una tendencia clara como en el caso de laboreo en la relación entre nitrato en suelo de 0-3 cm y cubierta. Ello puede deberse al efecto de la mineralización de la cubierta tras su muerte y a la de la materia orgánica contenida en el suelo, que puede contribuir a una homogeneización del contenido de nitrato en superficie a lo largo del tiempo. Debe tenerse en cuenta que los sistemas conservacionistas presentan unos

<sup>1</sup> En la finca existe ganado. Ocasionalmente se han encontrado deyecciones en el interior de las trampas. Las fechas no son determinables.

<sup>2</sup> El marco es irregular. Dada la separación, se estima una densidad inferior a 60 árboles/ha.

contenidos muy superiores de materia orgánica en superficie (Ordóñez, 2004).

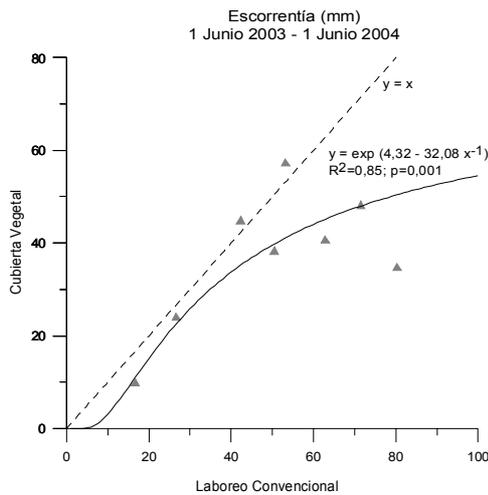


Fig. 1. Escorrentía obtenida en las distintas parcelas según el sistema de manejo de suelo aplicado.

El porcentaje de cobertura también guarda relación con la pérdida de nitrato en solución, obteniéndose de nuevo patrones de comportamiento diferentes según sistemas de manejo de suelo, como se observa en la Fig. 3. La mayor extracción de nutrientes que tiene lugar con CV (lo cual propicia un menor contenido de nitrato en suelo), y las generalmente menores escorrentías hacen que la pérdida del anión en solución sea inferior a la de LC.

Los contenidos de  $\text{NO}_3^-$  en suelo suelen ser inferiores en LC respecto a CV, excepto cuando se realiza una labranza, tras la cual se aprecia un importante incremento en los niveles del nutriente. Dicho residuo se descompone con mayor rapidez bajo laboreo, pues queda en unas condiciones más propicias para la descomposición microbiana (mayor superficie de contacto y adecuada humedad, entre otros). (Cassman y Munns, 1980; Thönnissen et al. 2000), por lo que las fluctuaciones anuales en el contenido de nitratos en suelo pueden resultar mayores en LC. La cubierta vegetal viva da lugar a una atenuación de la variación de la relación entre el porcentaje de cobertura y la pérdida de nitrato.

Respecto a la tasa de transferencia de nitrato al agua de escorrentía (cociente de las pérdidas del anión por hectárea y la escorrentía), ésta es muy superior en las parcelas abonadas respecto a las demás. Con independencia del porcentaje de cobertura, dicha tasa es muy superior tras la aportación del fertilizante en superficie. Numerosos autores indican la importancia de las pérdidas correspondientes al evento posterior al abonado, denominados por algunos “pérdidas de evento específico”.

Los resultados obtenidos son muy variables según parcela. En 5 de ellas la tasa resulta superior en LC frente a 3 parcelas en que ocurre lo contrario. Destacan las parcelas abonadas, pues en ellas la diferencia entre tasas con LC y CV se hacen máximas, según indicaban Klausner et al. (1974). En líneas generales, los resultados obtenidos por diferentes autores son contrapuestos, sin tendencia clara,

pues la tasa de transferencia ha aumentado en unos experimentos y disminuido en otros. Mayores tasas de nutrientes al agua de escorrentía han sido observados por Mostaghimi (1988) y Torbert et al. (1996), entre otros autores, mientras que Klausner et al. (1974) y Yoo et al. (1988) apuntan lo contrario.

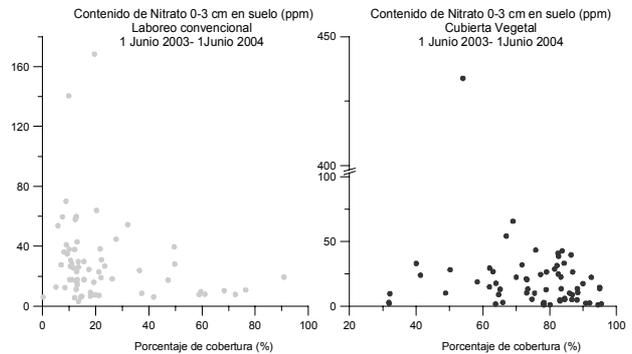


Fig. 2. Relación entre contenido de nitrato en suelo y porcentaje de cobertura según sistema de manejo de suelo.

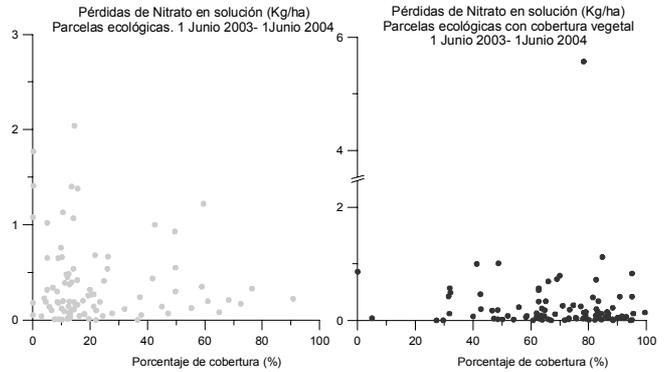


Fig. 3. Relación entre pérdidas de nitrato en solución y porcentaje de cobertura según sistema de manejo de suelo.

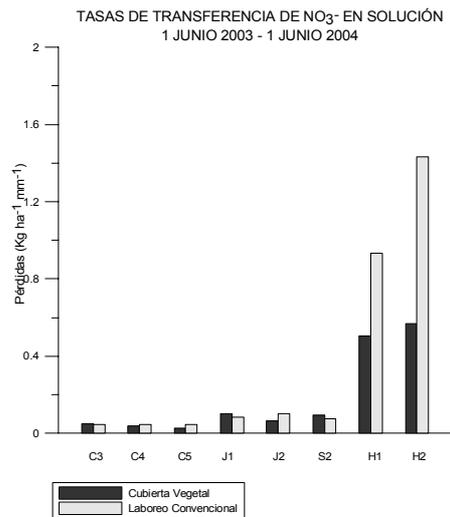


Fig. 4. Tasas de transferencia de  $\text{NO}_3^-$  en solución en los distintos campos experimentales.

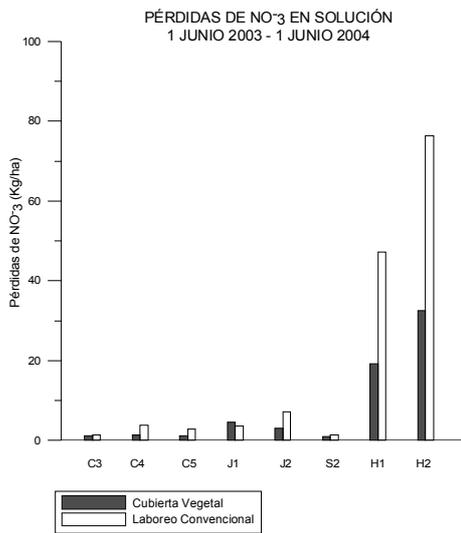


Fig. 5. Pérdidas de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> en solución en los distintos campos experimentales.

Los resultados obtenidos denotan una menor pérdida de nitrógeno en disolución en forma de nitrato en todas las parcelas analizadas (Fig. 5), excepto en J1, con un grado de disminución variable. Como observaron Klausner et al. (1974) comparando dos sistemas de manejo de suelo, el efecto relativo de la cubierta en la reducción de nitrógeno en solución dependía claramente de la fertilidad del suelo y de la cantidad de abono utilizado. Con mayor cantidad de abono, la cubierta reducía en mayor proporción las pérdidas de nitrato en solución soluble. La pérdida del anión en el flujo disminuye un 40% de media. El sistema conservacionista reduce significativamente las pérdidas en parcelas que no reciben aportación al suelo ( $p=0,02$ ) y de forma ligeramente significativa en las que reciben aportación al suelo ( $p=0,06$ ).

Las UFN perdidas con respecto a las aportadas resultan variables en las distintas parcelas para el sistema de laboreo tradicional, y superiores al 10% en ocasiones. En cultivo con cubierta vegetal se aprecia una mayor constancia, pues los porcentajes oscilan entre el 3,9 y el 4,5% de las UFN aportadas. Estos porcentajes resultan algo superiores a los determinados por otros autores para distintos cultivos: Gascho et al. (1998) determinaron porcentajes de pérdida de pérdidas del 1,4%, similares a los obtenidos por Hubbard et al. (1989), pero incorporaron el abono a 15 cm de profundidad y posteriormente aplicaron abono líquido, que no consideran tan susceptible de pérdidas por escorrentía como los fertilizantes sólidos, caso de las parcelas de olivar aquí mostradas. Alberts et al. (1978) determinaron pérdidas inferiores al 2% del fertilizante aplicado y Douglas et al. (1998), en un experimento con cultivo de trigo al que se aplicó fertilizante en superficie, determinaron pérdidas inferiores al 2% de las aplicadas en un experimento de 5 años de duración. Torbert et al. (1999), en un experimento realizado con suelo labrado con chisel, con y sin cubierta, en parcelas de 1 m<sup>2</sup> con 2-3% de pendiente, aplicaciones de 134 UFN/ha, y con lluvia simulada tras la aplicación del abono en superficie, midieron pérdidas del 3,6 al 11% bajo

laboreo sin cobertura, y del 0,86 al 2,89% con la existencia de residuo. Los porcentajes de pérdida obtenidos en el presente estudio resultan algo superiores, lo cual resalta la importancia de la existencia de cobertura vegetal para reducir las pérdidas de nitrato en solución.

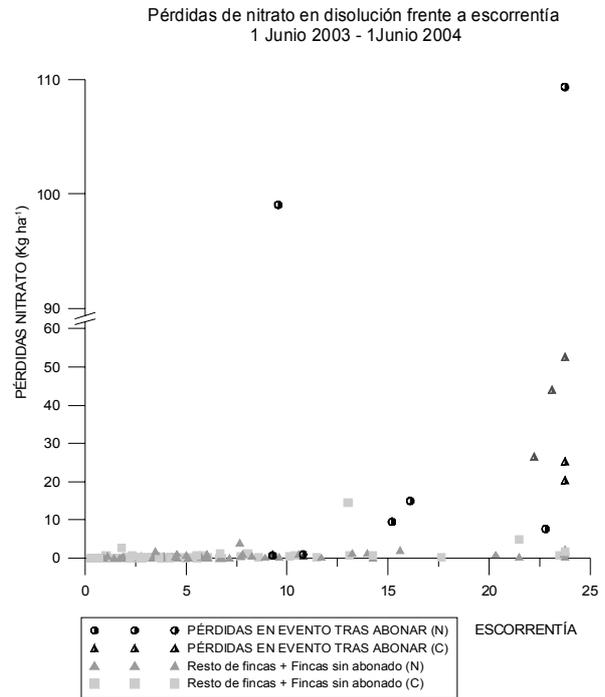


Fig. 6. Relación Escorrentía-Pérdidas de nitrato en solución.

La Fig. 6 muestra la relación existente entre la escorrentía y la pérdida de nitrato ( $r_{sxy}=0,78$ ;  $p=0,000$ ). Se observa cómo las mayores escorrentías corresponden a las mayores salidas del anión del sistema, así como los eventos sucedidos con posterioridad al abonado, así como el efecto beneficioso de la cubierta en las parcelas abonadas a la hora de reducir la salida del contaminante.

#### 4. Conclusiones

El ensayo pone de manifiesto la importancia de la cubierta vegetal en la reducción de la contaminación de nitratos por escorrentía. De hecho, existe una relación inversa entre el porcentaje de cobertura y la pérdida de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> en solución en LC que no se aprecia en CV, por la homogeneización temporal que la mineralización de la MO supone en el contenido de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> en superficie.

La lluvia ácida después de un abonado supone la mayor pérdida registrada en el periodo de estudio. La transferencia de nitratos al agua de escorrentía es más gradual en las parcelas no fertilizadas.

Con todo, y teniendo en cuenta la variabilidad climática anual y el carácter perenne del olivo se hace necesaria la experimentación durante algunos años para poder extraer conclusiones más definitivas al respecto.

*Agradecimientos.* Al Convenio Especifico entre la Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía y la Asociación Española Agricultura de Conservación/ Suelos Vivos “Desarrollo de un Programa de Seguimiento para la Evaluación de la aplicación de las medidas de fomento de Cubiertas Vegetales en el Olivar de Andalucía”, que ha permitido la financiación de los ensayos de campo y laboratorio; al comité científico del Convenio por su labor de revisión; al personal de laboratorio por su ayuda en la labor de realización de análisis; y a los propietarios de las diferentes parcelas por permitir la continuación de los experimentos.

## Referencias

- Agrela, F. 2003. Evaluación manual y automatizada de la cubierta de restos de cosecha en sistemas de Agricultura de Conservación. Tesis Doctoral. Departamento de ingeniería Rural. Universidad de Córdoba
- Alberts, E.E., Schuman, G.E. y Burwell, R.E. 1978. Seasonal runoff losses of nitrogen and phosphorus from Missouri Valley loess watersheds. *J. Environ. Qual.*, 7: 203-208.
- Cassman, K.G. y Munns, D.N. 1980. Nitrogen mineralization as affected by soil moisture, temperature and depth. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 44: 1233-1237.
- Davenport, T.E. 1994. EPA's perspective –you need to protect water quality. *J. Soil Water Conserv. Spec. Suppl.* 49(2): 14-15.
- Díaz, I. 2002. Caracterización de la liberación de fosfatos en suelos representativos del área mediterránea. Trabajo Profesional de Fin de Carrera. Departamento de Ciencias y Recursos Agrícolas y Forestales. Universidad de Córdoba.
- Douglas, C.L.; King, K.A. y Zuzel, J.F. 1998. Nitrogen and phosphorus in surface runoff and sediment from a wheat-pea rotation in Northeastern Oregon. *J. Environ. Qual.* 27: 1170-1177.
- Douglas, C.L.; King, K.A. y Zuzel, J.F. 1996. Nitrogen in surface runoff and sediment. Columbia Basin Agricultural Research Annual report. *Spect. Rpt.* 961: 41-44.
- Fleming, N.K. y Cox, J.W. 1998. Chemical losses of dairy catchments located on a texture-contrast soil: carbon, phosphorus, sulfur and other chemicals. *Aust. J. Soil Res.* 36: 979-995.
- Gascho, G.J.; Wauchope, R.D.; Davis, J.G.; Truman, C.C.; Dowler, C.C.; Hook, J.E.; Summer, H.R. y Johnson, A.W. 1998. Nitrate-nitrogen, soluble and bioavailable phosphorus runoff from simulated rainfall after fertilizer application. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 62: 1711-1718.
- Giráldez, J.V. 1998. Efecto de los sistemas de laboreo sobre las propiedades físicas del suelo. En García, L. y González, P. (Ed). *Agricultura de Conservación. Fundamentos agronómicos, medioambientales y económicos.* Asociación Española de Laboreo de Conservación. Córdoba. pp 13-40.
- Holland, J.M. 2004. The environmental consequences of adopting conservation tillage in Europe: reviewing the evidence. *Agriculture, ecosystems and environment*, 103 (1): 1-25.
- Hubbard, R.K.; Williams, R.G. y Erdman, M.D. 1989. Chemical transport from Coastal Plain soils under simulated rainfall: I. Surface runoff, percolation, nitrate, and phosphate movement. *Trans. ASAE*, 32: 1239-1249.
- Klausner, S.D.; Zwerman, P.J. y Ellis, D.F. 1974. Surface runoff losses of soluble nitrogen and phosphorus under two systems of soil management. *J. Environ. Qual.* 3: 42-46.1
- Korsaeth, A. y Eltun, R. 2000. Nitrogen mass balances in conventional, integrated and ecological cropping systems and the relationship between calculations and nitrogen runoff in an 8-year field experiment in Norway. *Agriculture, Ecosystems and environment*, 79: 199-214.
- Labrador, J. 2002. Aproximación a las bases técnicas de la agricultura ecológica. En Labrador, J; Porcuna, J.L. y Bello, A. (Ed). *Manual de agricultura y ganadería ecológica.* Mundi-prensa. Madrid. Capítulo 2.
- Mostaghimi, S; Dillaha, T.A. y Shanholz, V.O. 1988. Influence of tillage systems and residue levels on runoff, sediment, and phosphorus losses. *Trans. ASAE* 31: 128-132.
- Ordóñez, R. 2004. Cambios inducidos en la fertilidad de un suelo por la Agricultura de Conservación. En Gil-Ribes, J; Blanco-Roldán, G.L. y Rodríguez-Lizana, A. (Ed.). *Técnicas de Agricultura de Conservación.* Mundi-Prensa. Madrid. Capítulo 17.
- Page, A.L. 1982. Methods of soil analysis. Part II. Chemical and microbiological properties. 2ª edición. *Agronomy*. Nº 9. ASA, SSSA. Madison.
- Richardson, C.W. y Knight, K.W. 1995. Erosion and nutrients losses from zero tillage on a clay soil. *J.Agric. Engng Res.*, 61: 81-86.
- Rodríguez-Lizana, A., Ordóñez, R. y González, E.J. 2004. Agricultura de Conservación en cultivos leñosos (olivar): cubiertas vegetales. Cualidades y tipos principales. En Gil-Ribes, J; Blanco-Roldán, G.L. y Rodríguez-Lizana, A. (Ed.). *Técnicas de Agricultura de Conservación.* Mundi-Prensa. Madrid. Capítulo 17.
- Saavedra, M.; Pastor, M. 2002. *Sistemas de cultivo en olivar. Manejo de malas hierbas y herbicidas.* Editorial Agrícola Española.
- Sharpley, A.N.; Daniel, T.C. y Edwards, D.R. 1993. Phosphorus movement in the landscape. *J. Prod. Agric.*, Vol 6, nº 4. 1993.
- Thönnissen, C.; Midmore, D.J.; Ladha J.K.; Olk, C. y Schmidhalter, U. 2000. Legume decomposition and nitrogen release when applied as green manures to tropical vegetable production systems. *Agron. J.*, 92: 253-260.
- Torbert, H.A., Potter, K.N. y Morrison, J.E. 1996. Management effects on fertilizer N and P losses in runoff on Vertisols. *Trans. ASAE* 39(1): 161-166.
- Yoo, K.H.; Touchton, J.T. y Walker, R.H. 1988. Runoff, sediment and nutrient losses from various tillage systems of cotton. *Soil Tillage Res.* 12: 13-24.