

# Dinámica del Nitrogeno en los suelos de la CAMPIÑA ANDALUZA

Por:

L. López Bellido,  
F.J. López Garrido,  
J.E. Castillo,  
M. Fuentes y J. Muñoz\*

## La agricultura sostenible frente al monocultivo

La agricultura de la región Mediterránea ha sufrido en los últimos años el impacto de las técnicas agrícolas intensivas, que afecta negativamente a la fertilidad de los suelos, especialmente, a través de los procesos de erosión. La fragilidad de los sistemas agrícolas semiáridos agrava la situación y demanda la adopción de medidas urgentes que detengan dichos procesos. Se imponen nuevas técnicas agrícolas que actúen positivamente sobre el medio ambiente, sin que se resienta la economía de la explotación agraria. Entre ellas, el laboreo del suelo es de capital importancia. Frente al laboreo convencional, que erosiona y degrada la estructura del suelo, han surgido las técnicas de no laboreo y de laboreo de conservación, que tienen indudables ventajas agronómicas y económicas. Estos nuevos sistemas de laboreo no han sido todavía suficientemente evaluados en la agricultura mediterránea, que tiene especiales características de clima y suelos. Por otro lado, las rotaciones de cul-

tivo, sobre todo con intervención de leguminosas, representan una opción ventajosa en el marco de la agricultura sostenible frente al monocultivo, por numerosas razones sobradamente conocidas. Finalmente el nitrógeno, que representa uno de los principales inputs de la agricultura, puede ser también una fuente contaminante de las aguas. Los niveles óptimos de N fertilizante han de ser establecidos en función del clima, las reservas del suelo y de las rotaciones, con el fin de alcanzar los máximos rendimientos y evitar la polución difusa.

Sin embargo, todo cambio introducido por las técnicas aplicadas en un sistema agrícola altera los procesos físicos, químicos

y biológicos del mismo. Se producen una serie de modificaciones en el sistema inicial durante cierto tiempo, variable según el proceso afectado, hasta alcanzarse un nuevo equilibrio. En el caso del nitrógeno del suelo, cuya dinámica es compleja y de gran importancia al tratarse del elemento mineral más requerido por los cultivos, es de gran interés el estudio de los efectos producidos por el cambio de técnicas de cultivo, puesto que repercuten a medio y a largo plazo en la economía del nitrógeno fertilizante de la explotación agrícola.

Desde el año 1986 estamos realizando un experimento de larga duración en las condiciones de secano de la campiña andaluza, que tiene como objetivo evaluar el efecto del método de laboreo, la rotación de cultivos y el nitrógeno fertilizante en la dinámica del nitrógeno del suelo, a través del estudio de la evolución del contenido de materia orgánica y nitratos del perfil del suelo.

### DESCRIPCION DEL EXPERIMENTO

El experimento está situado en la campiña de Córdoba, en un suelo típico de bujeo (Vertisol) de secano. Se inició en 1986, mar-

## El laboreo convencional disminuye la materia orgánica del suelo

\* Departamento de Ciencias y Recursos Agrícolas y Forestales  
Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos y Montes. Córdoba.



cándose de forma permanente un área de 24.975 Hm<sup>2</sup> (135 x 185 m) con el fin de establecer un estudio de larga duración sobre el mismo suelo. En dicha área se establecieron como parcela principal dos métodos de laboreo (no laboreo y laboreo convencional); como subparcelas cuatro rotaciones bianuales (trigo-girasol, trigo-garbanzos, trigo-habas y trigo-barbecho) y trigo continuo (monocultivo); y como sub-subparcelas tres dosis de nitrógeno fertilizante aplicadas al trigo (50, 100 y 150 kg/ha). El diseño estadístico usado es el de parcelas sub-subdivididas, con cuatro repeticiones. El número total de parcelas elementales es de 2 x 120 al duplicarse cada rotación con secuencia invertida de cultivos, para disponer anualmente de resultados completos sobre las mismas. El área de la parcela elemental es 100 Hm<sup>2</sup> (10 x 10).

El tratamiento de no laboreo (siembra directa) utiliza una sembradora específica, controlándose las malas hierbas, antes y después del cultivo, con la mezcla herbicida Glifosato+MCPA. El laboreo convencional consiste en una labor de arado de vertedera y varias labores de grada de discos y/o escarificador para desmenuzar los terrones y preparar el lecho de siembra. En ambos métodos de laboreo los residuos de los cultivos fueron dejados en el suelo, permaneciendo como "mulching" en el no laboreo y siendo incorporados al suelo en el laboreo convencional.

La siembra de trigo se efectúa habitualmente a finales de noviembre o principios de diciembre, utilizándose la variedad Cajeme; la del girasol en marzo con la variedad Blanco lechoso y la de habas en noviembre con la variedad Alameda. El barbecho se mantuvo limpio todo el año, con glifosato en el no laboreo y con labores de grada en el laboreo convencional.

El nitrógeno fertilizante se aplica a las parcelas de trigo en forma de urea granulada de 46%. La mitad de la dosis respectiva se aplica antes de la siembra, incorporándola con grada en las parcelas de laboreo convencional y en superficie en el no laboreo. La otra mitad se aplica en cobertera al comienzo del ahijado del trigo.

En cada cultivo, las malas hierbas son controladas con herbicidas específicos y las plagas y enfermedades según las observaciones efectuadas. Con excepción de las dosis referenciadas para el trigo, no se aplica ningún nitrógeno fertilizante a los demás cultivos. Cada dos años se efectúa fertilización fosfatada, también en las parcelas de trigo, a dosis de 150 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha, incorporándose al suelo en el laboreo convencional y aplicándose en superficie en el no laboreo. Los altos niveles de potasio asimilable en el suelo recomendaron no utilizar fertilizante potásico.

En otoño de 1992 y 1995 se tomaron muestras de suelo en todas las parcelas donde se había cultivado trigo en el año anterior, a una profundidad de 90 cm, dividiendo-



Fresas (Huelva)

se en tres estratos (0-30, 30-60 y 60-90 cm). Se analizaron la materia orgánica y los nitratos, en el primer caso, determinando el carbono total por colorimetría, y en el segundo por el método colorimétrico de Griess-Illosvay.

## CARACTERIZACIÓN INICIAL DEL SUELO

La tabla 1 muestra el análisis del suelo antes de iniciarse el experimento. Las muestras fueron tomadas en el año 1986, a las

Tabla 1. - Índices del análisis del suelo. Año 1986. Finca Malagón, Córdoba.

Índices	Profundidad (cm)		
	0-30	30-60	60-90
Arena (%)	12.7(1.7) <sup>1</sup>	14.3(1.9)	18.7(2.1)
Limo (%)	17.9(2)	15.2(2)	2.6(0.5)
Arcilla (%)	69.4(3.5)	70.5(3.7)	78.7(3.9)
pH en agua	7.7(0.15)	7.6(0.15)	7.6(0.1)
M. orgánica (g/kg)	9.6(0.7)	5.3(1.1)	2.9 (0.5)
P asimilable (mg/kg)	4.9(1)	1.5(0)	1.5(0.7)
K asimilable (mg/kg)	531(36)	257(15)	249(94)
Caliza activa (%)	7(0.9)	7(1)	6.9(0.7)
Carbonatos (%)	7.5(1.3)	9.3(4.1)	7.1(0.5)
CIC (meq/100g)	46.5(3.7)	36.6(5.4)	30(6.9)
Ca cambio (meq/100g)	38.7(6.2)	28.5(7.9)	22.9(3.9)
Mg cambio (meq/100g)	4.5(2.3)	5(2.3)	6(1.8)
Na cambio (meq/100g)	0.9(0.2)	2.5(0.6)	4.3(1.3)
K cambio (meq/100g)	1.3(0.1)	0.7(0)	0.5(0.1)

<sup>1</sup> Las cifras en paréntesis expresan el error estándar de la media

profundidades 0-30, 30-60 y 60-90 cm. Se trata de un suelo fuertemente arcilloso, característico Vertisol ("Bujeo") de la Campiña del Guadalquivir. La arcilla aumenta con la profundidad, debido al lavado producido por las lluvias a lo largo de los años. También aumenta con la profundidad la fracción arena, mientras que el limo disminuye fuertemente. El pH es ligeramente básico, manteniéndose estable con la profundidad.

El contenido de materia orgánica es muy bajo, lo que es característico de climas semiáridos y de tierras cultivadas. El fósforo asimilable (método Olsen) también es muy bajo y disminuye considerablemente en los horizontes inferiores, donde el contenido es similar entre ellos.

El nivel de potasio asimilable es muy elevado, como es habitual en este tipo de suelos, y disminuye considerablemente en los horizontes más profundos, que presentan una concentración similar.

La alta capacidad de intercambio catiónico (CIC) es propia de los Vertisoles y de su naturaleza fuertemente arcillosa. También disminuye en profundidad con respecto al horizonte superficial.

#### EFFECTOS EN EL CONTENIDO DE MATERIA ORGÁNICA DEL SUELO

Se estudia y compara la evolución de la materia orgánica, según el método de laboreo, rotación de cultivos y dosis de nitrógeno fertilizante, a los 6 años (1992) y a los 9 años (1995) del inicio del ensayo.

El contenido de materia orgánica del suelo en el año 1995 fue inferior que en 1992 en los horizontes 0-30 y 30-60 cm, y a la inversa en el horizonte 60-90 cm. En el perfil completo (0-90 cm) las diferencias no fueron significativas. La lluvia registrada en el período 1992-1995 (Fig.1) fue notablemente inferior a la media de la zona (584 mm): 377 mm (1992-93), 414 mm (1993-94) y 298 mm (1994-95),

lo que produjo un rendimiento muy bajo de los cultivos durante este periodo. En la figura 2 se muestran los rendimientos medios anuales de trigo desde el inicio del ensayo, así como la media de los 8 años. Se puede observar que en los años transcurridos entre los dos análisis de materia orgánica y nitratos (1992 y 1995) los rendimientos fueron los más bajos de los ocho años estudiados. La correlación entre la lluvia registrada y el rendimiento del cereal fue muy alta en las condiciones del ensayo. La baja producción de biomasa de dicho periodo explica la disminución de la materia orgánica en los dos primeros horizontes (los residuos incorporados al suelo no compensaron la tasa de mineralización producida). Sin embargo en el horizonte más profundo (60-90 cm) la sequía no afectó

### La rotación trigo-habas aumenta los nitratos en el suelo

a la formación de materia orgánica.

El método de laboreo (Fig.3) en los estratos 0-30, 30-60 y 60-90 cm no fue significativo en el año 1992 y si lo fue en los horizontes 0-30 y 30-60 cm en el año 1995, siendo el contenido de materia orgánica en el no laboreo mayor en ambos horizontes, en comparación con el laboreo convencional. Se observa al comparar ambos años que el no laboreo y el laboreo convencional de 1992 y el no laboreo de 1995 tuvieron concentraciones similares de materia orgánica, en los horizontes 0-30 y 30-60 cm. Con independencia del tiempo que necesita un sistema

agrícola, a raíz de un cambio introducido en las técnicas de cultivo, para alcanzar un nuevo nivel estable de materia orgánica, se puede afirmar que en condiciones de baja lluvia (sequía) el no laboreo mantiene mejor el nivel de materia orgánica que el laboreo convencional. Tal vez en condiciones de mayor precipitación, el contenido de materia orgánica en el no laboreo aumente en comparación con el laboreo convencional.

Las rotaciones de cultivo (Fig.4) no han tenido influencia en el contenido de materia orgánica en los dos años estudiados, en contra de los resultados de otras investigaciones que les atribuyen a un incremento de la misma frente al monocultivo. Los bajos rendimientos motivados por la sequía y la baja capacidad del barbecho desnudo para conservar la materia orgánica del suelo pueden ser las posibles causas de esta discrepancia. Tendrá que transcurrir un periodo de tiempo más largo, junto a lluvias mas abundantes, para observar efectos positivos, especialmente en la rotación con leguminosas.

El efecto de la dosis de nitrógeno fertilizante en el contenido de materia orgánica del suelo sólo fue significativo en el horizonte superficial 0-30 cm en los dos años estudiados (Fig.5), aunque de carácter opuesto. En 1992 el mayor contenido de materia orgánica correspondió a las mayores dosis de nitrógeno fertilizante, mientras que en 1995 fue a la inversa. Este cambio se puede atribuir a la incidencia del clima sobre los procesos de formación de materia orgánica y de mineralización de la misma.

#### EFFECTOS EN EL CONTENIDO DE NITRATOS DEL SUELO

Al igual que en el apartado anterior, se analiza la evolución de los nitratos según el método de laboreo, rotación de cultivos y de nitrógeno fertilizante, a los 6 años (1992) y a

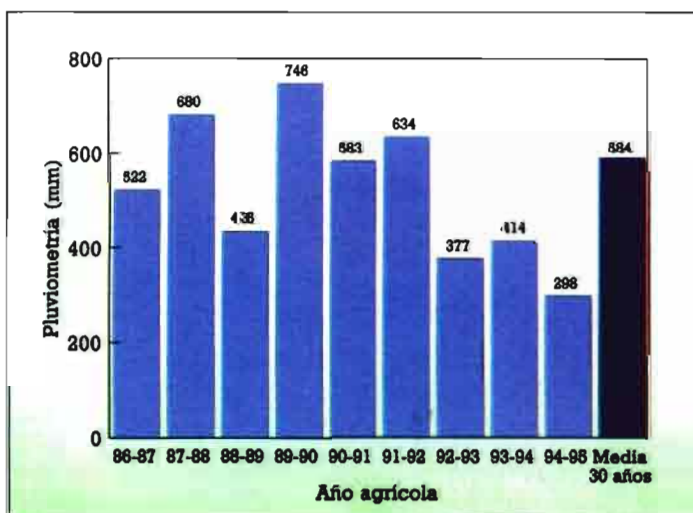


Fig. 1. Lluvia anual durante los 9 años agrícolas del experimento. Córdoba.

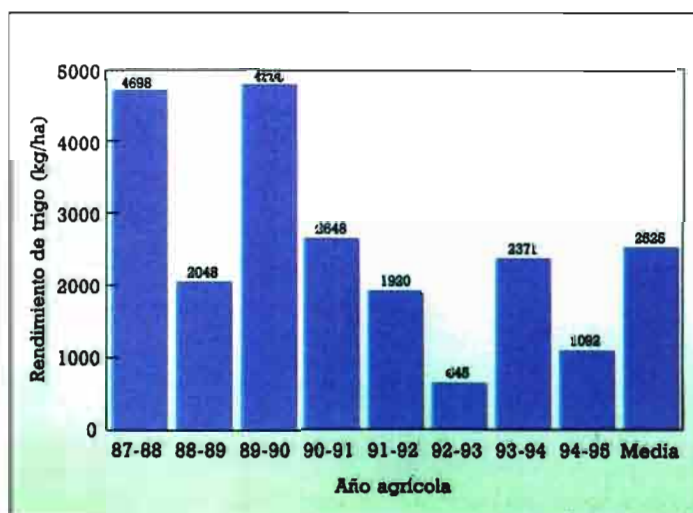
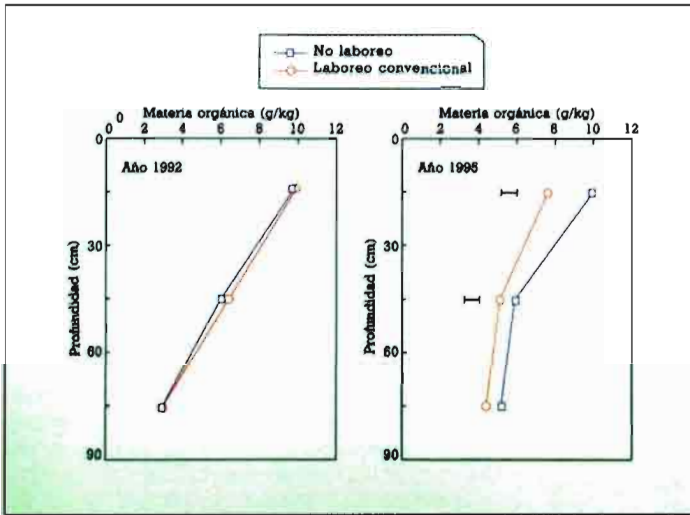
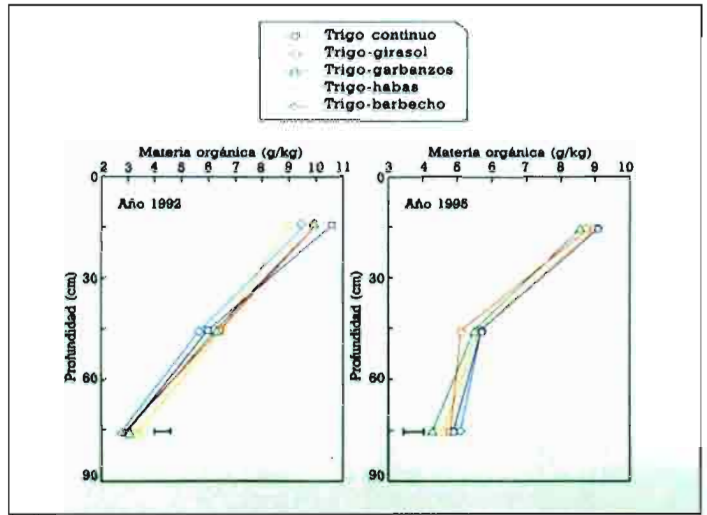


Fig. 2. Rendimiento medio del trigo en el conjunto del experimento en la campiña de Córdoba.



**Fig. 3.** Distribución de la materia orgánica del suelo en un Vertisol de la campiña de Córdoba después de 9 años de diferentes métodos de laboreo. Las barras horizontales indican la mínima diferencia significativa al 95% para cada intervalo de profundidad.



**Fig. 4.** Distribución de la materia orgánica del suelo en un Vertisol de la campiña de Córdoba después de 9 años de diferentes rotaciones de cultivo. Las barras horizontales indican la mínima diferencia significativa al 95% para cada intervalo de profundidad.

los 9 años (1995) del comienzo del ensayo.

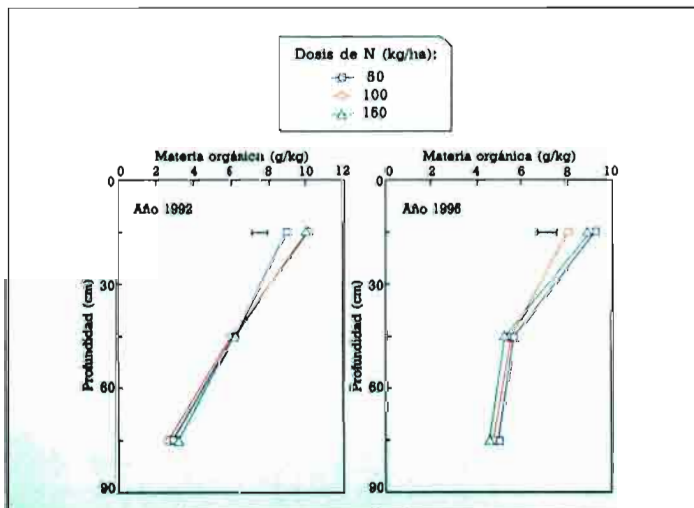
El período comprendido entre ambos años, como se ha comentado, correspondieron a años secos (Fig. 1) y en consecuencia a rendimientos muy bajos de trigo (Fig. 2), lo cual afectó al contenido de nitratos del suelo. Estos fueron similares en 1992 y 1995 en el horizonte 0-30 cm, y significativamente más altos en 1995 en los estratos 30-60 y 60-90 cm y en el perfil completo (0-90 cm). La sequía del período 1992-95 redujo el uso del N fertilizante por los cultivos, que fue lentamente translocado desde el horizonte superficial a los estratos inferiores del suelo.

El método de laboreo convencional registró mayores concentraciones de nitratos que el no laboreo, aunque las diferencias sólo fue-

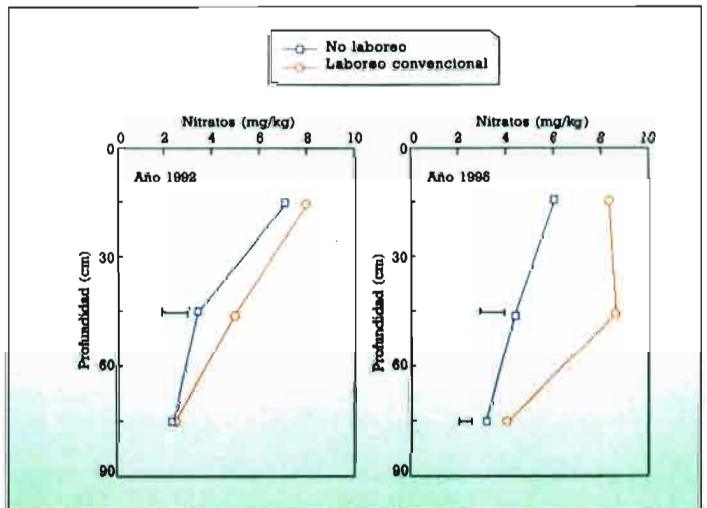
ron significativas en el estrato 30-60 cm, en los dos años y en el de 60-90 cm en 1995 (Fig. 6). Se infiere que la eficiencia en la utilización del abonado nitrogenado aportado en superficie en el no laboreo es menor que en el laboreo convencional, siendo necesario un aporte adicional de abono para igualar el contenido de nitratos entre ambos métodos. Estas diferencias pueden ser debidas a las pérdidas por volatilización del nitrógeno fertilizante (urea) aplicado en superficie en el no laboreo. El hecho de que no sean significativas en el horizonte superficial puede atribuirse a la movilidad de los nitratos en el suelo, que han sido desplazados a horizontes más profundos por el efecto de lavado.

Las diversas rotaciones también muestra-

ron diferencias significativas entre sí, respecto al contenido de nitratos del suelo, en los tres horizontes estudiados (0-30, 30-60 y 60-90 cm) (Fig. 7). El monocultivo de trigo tuvo mayores niveles de nitratos que las rotaciones, debido a que fue abonado anualmente, mientras que las rotaciones solo recibieron nitrógeno fertilizante cada dos años. Es de resaltar el mayor contenido de nitratos de la rotación trigo-habas, que en 1995 es similar al monocultivo de trigo en el horizonte 30-60 cm y le supera en el horizonte 60-90 cm. Ello pone de manifiesto la eficiencia de las habas en la fijación de nitrógeno y en la aportación residual consiguiente a los horizontes inferiores del suelo, debido al desarrollo en profundidad de su sistema radicular. Por el contra-



**Fig. 5.** Distribución de la materia orgánica del suelo en un Vertisol de la campiña de Córdoba después de 9 años de diferentes dosis de nitrógeno. Las barras horizontales indican la mínima diferencia significativa al 95% para cada intervalo de profundidad.



**Fig. 6.** Distribución de los nitratos del suelo en un Vertisol de la campiña de Córdoba después de 9 años de diferentes métodos de laboreo. Las barras horizontales indican la mínima diferencia significativa al 95% para cada intervalo de profundidad.

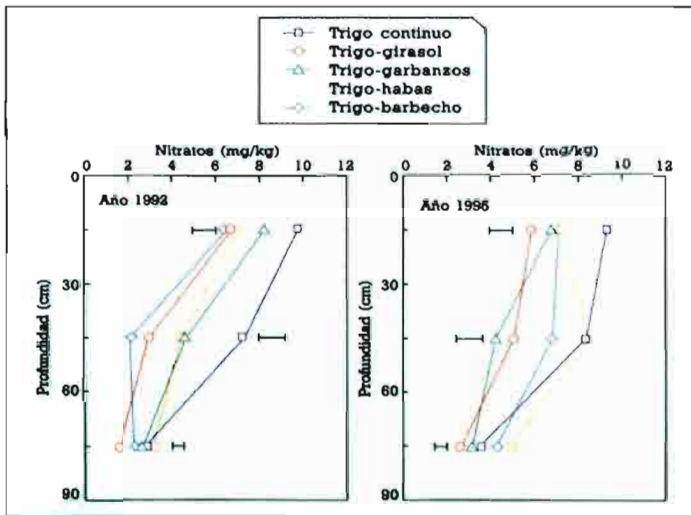


Fig. 7. Distribución de los nitratos del suelo en un Vertisol de la campiña de Córdoba después de 9 años de diferentes rotaciones de cultivo. Las barras horizontales indican la mínima diferencia significativa al 95% para cada intervalo de profundidad.

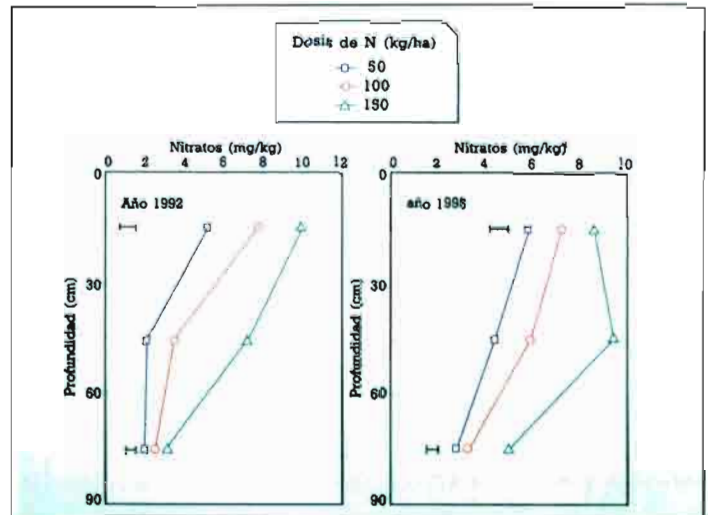


Fig. 8. Distribución de los nitratos del suelo en un Vertisol de la campiña de Córdoba después de 9 años de diferentes dosis de nitrógeno. Las barras horizontales indican la mínima diferencia significativa al 95% para cada intervalo de profundidad.



Cultivo del girasol en siembra directa. No laboreo y herbicida.

## Uso eficiente del nitrógeno y del agua en la rotación trigo-girasol

rio, la rotación que incluye al garbanzo fue menos eficaz en la aportación de nitrógeno al suelo, siendo conocida la menor eficiencia de esta leguminosa en la fijación de nitrógeno. La rotación que incluye barbecho no mejora la aportación de nitratos al suelo, evidenciándose la baja eficiencia del mismo en relación con el nitrógeno. Los niveles más bajos de nitratos en el suelo se registraron en

la rotación trigo-girasol, constatándose la excelente complementariedad de ambos cultivos en la campiña del Guadalquivir, respecto al uso del nitrógeno del suelo: el trigo lo extrae principalmente de los horizontes superficiales y el girasol de los horizontes más profundos.

Con relación a la dosis de nitrógeno fertilizante, la evolución del contenido de nitratos

del suelo es la que cabría esperar: aumento de su concentración en todos los horizontes al incrementarse la dosis aplicada (Fig.8). El que estas diferencias se mantengan en todo el perfil pone de manifiesto la movilidad y el desplazamiento de los nitratos a niveles más profundos del suelo. La tabla 2 muestran el contenido de nitratos en el perfil total del suelo estudiado (0-90 cm).

Tabla 2.- Niveles medios de nitratos del suelo (kg/ha), en la profundidad 0-90 cm según el sistema de laboreo, rotación de cultivos y dosis de nitrógeno fertilizante, en un experimentos en la campiña de Córdoba.

Tratamiento	Año	
	1992	1995
<b>Laboreo</b>		
No laboreo	51	53
Laboreo convencional	61	83
<b>Rotación</b>		
Trigo continuo	77	82
Trigo-girasol	44	53
Trigo-garbanzos	61	55
Trigo-habas	57	80
Trigo-barbecho	42	71
<b>Dosis de N (kg/ha)</b>		
50	36	51
100	53	64
150	79	90
<b>Media General</b>	<b>56</b>	<b>68</b>



## CONCLUSIONES

Al tratarse de un experimento de larga duración y dado el carácter múltiple y complejo de los factores analizados (método de laboreo, rotación de cultivo y nitrógeno fertilizante), las conclusiones obtenidas en un tiempo determinado sólo pueden representar tendencias en un sistema dinámico que interacciona con el ambiente. Después de 9 años de experimentación de campo, las conclusiones más relevantes son:

- El no laboreo continuado de los Vertisoles, en condiciones de secano, no ha incrementado los niveles de materia orgánica del suelo, que se han mantenido estables. Por el contrario, el laboreo convencional disminuyó el contenido de materia orgánica del suelo.

- Las rotaciones de cultivo, incluido el monocultivo de trigo y las que incluyen leguminosas o barbecho, no han generado diferencias en la materia orgánica del suelo.

- El nitrógeno fertilizante aplicado al cereal manifestó, respecto a la materia orgánica del suelo, un comportamiento dispar. En los primeros años del experimento la materia orgánica aumentó con la dosis de nitrógeno y posteriormente ocurrió a la inversa. Ello puede adscribirse a diferencias en los procesos de actividad microbiana del

suelo y de mineralización de la materia orgánica, influidos por las condiciones climáticas.

- El contenido de nitratos del suelo ha sido más alto en el laboreo convencional que en el no laboreo. Esta diferencia aumentó con el tiempo. Las causas pueden ser diversas: pérdidas de nitrógeno por volatilización (urea), y diferencias en las tasas de mineralización de la materia orgánica y de lavado de nitratos.

- Las rotaciones de cultivo han inducido gradualmente, con el tiempo, diferencias en la concentración de nitratos del suelo. La rotación trigo-habas ha sido la que más ha contribuido al incremento de nitratos en el suelo, por la habilidad de esta leguminosa en fijar nitrógeno atmosférico y suministrar nitrógeno residual al suelo. Por el contrario, el garbanzo no ha manifestado este comportamiento, confirmando que posee un efecto residual bajo. Los niveles más bajos de nitratos correspondieron a la rotación trigo-girasol, al ejercer el potente sistema radicular del girasol un uso muy eficiente del nitrógeno y de la humedad en todo el perfil del suelo. Ello apoya la popularidad entre los agricultores de este sistema de cultivo en los Vertisoles de secano.

- La interacción significativa entre el sistema de laboreo y la rotación de cultivo confirma el efecto diferencial que el método de laboreo puede tener en el contenido de

materia orgánica y nitratos del suelo, particularmente en relación con las leguminosas y el barbecho desnudo. Este último no tiene especiales ventajas en términos de acumulación de nitratos en el suelo, en relación con otras rotaciones, particularmente trigo-habas. Además, las pérdidas de nitrógeno parecen ser más claras en la rotación trigo-barbecho, sobre todo en el no laboreo dadas las especiales propiedades de los vertisoles.

- Los contenidos de nitratos del suelo han sido proporcionales a las dosis de nitrógeno fertilizante aplicadas. Ello demuestra que una parte del fertilizante no fue utilizada por los cultivos. En el conjunto del perfil del suelo estudiado (0-90 cm), se ha observado una lenta translocación de nitratos hacia horizontes más profundos y un progresivo enriquecimiento del suelo.

- El predominio de años secos en el conjunto de los 9 años del experimento ha limitado la extracción de nitrógeno por los cultivos, reduciéndose la cantidad de residuos retornada al suelo. Por la misma razón, el lavado de nitratos, dada la textura fuertemente arcillosa del suelo, ha sido moderada. Todo ello sugiere la necesidad de un periodo de tiempo mayor (en el que la lluvia a pesar de su peculiar variabilidad, sea más representativa de la zona) para observar cambios más significativos en la materia orgánica y nitratos del suelo.



# Semana Verde de Galicia

SILLEDA • 27 / 31 DE MAYO • 1998

## EL MAYOR ESCAPARATE AGROALIMENTARIO QUE USTED PUEDA VER

420.000 metros cuadrados en donde usted podrá encontrar las últimas novedades mundiales en ganadería, alimentación, tecnoodimentación, hortofloricultura, maquinaria agrícola y forestal.

Una año más, la Semana Verde demuestra su madurez como el más importante encuentro europeo entre los consumidores, las empresas y los profesionales del sector. El mayor escaparate del sector agroalimentario, donde usted no puede faltar.

