

## Aplicación agrícola de deyecciones ganaderas y dinámica del nitrógeno mineral en el suelo

C. Nabau<sup>1\*</sup>, C. Cantero-Martínez<sup>2</sup>, J. Tugues<sup>1</sup>, G. Murillo<sup>1</sup>, E. Puigpinós<sup>1</sup>, S. Vilà<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> GESFER. Consorci de gestió de la fertilització agrària de Catalunya. Camp de Mart, 35. 25004 – Lleida.

<sup>2</sup> Dpto. de Producción Vegetal i Ciencia Forestal. Universitat de Lleida Rovira Roure, 191. 25198 – Lleida.

\* Autor de contacto: [cnabau@gencat.cat](mailto:cnabau@gencat.cat)

### Resumen

La aplicación agrícola de las deyecciones ganaderas ha sido desde el inicio de la agricultura una forma de devolver al suelo una parte de los nutrientes exportados por los cultivos. La revolución verde dio un impulso a la agricultura fomentando la necesaria aportación de nutrientes al suelo para conseguir mayores rendimientos de los cultivos y aprovechar la eficacia de la mejora genética y la mecanización. La transformación de la agricultura y ganadería tradicionales a sistemas intensivos ha hecho que, en algunas zonas, el ciclo de nutrientes habitualmente deficitario se convirtiese en excedentario. Por ello la situación actual en muchos sistemas agrícolas ha cambiado y ya no se parte de suelos habitualmente faltos de nutrientes sino de suelos con un nivel medio u alto de los mismos. Ello exige de una optimización de las aplicaciones de nutrientes considerando con precisión las necesidades de los cultivos y procurar la sostenibilidad medioambiental. Para mejorar u optimizar las prácticas de fertilización de los cultivos en Catalunya, desde el 2006 se ha puesto en marcha el proyecto MillorFer que consiste en una red de planes para la mejora de la fertilización agraria que se desarrolla en distintas regiones. Este artículo muestra algunos resultados obtenidos en el desarrollo de estos Planes, pretende dar una visión de las prácticas habituales de fertilización de los suelos de algunas zonas de Catalunya, y detallar la dinámica del nitrógeno mineral en el suelo en función de estas prácticas y de la procedencia orgánica o mineral de los fertilizantes. Los resultados que se presentan se han obtenido del estudio de la dinámica del nitrógeno mineral del suelo en los campos de ensayo implantados.

### Palabras clave

Deyecciones; nutrientes; nitrógeno mineral; fertilización; planes de mejora de la fertilización.

## INTRODUCCIÓN

En los últimos años, la importancia que han adquirido los aspectos medioambientales relacionados con la actividad agrícola, han hecho necesaria la puesta en funcionamiento de iniciativas encaminadas a promover y difundir las buenas prácticas agrarias, con el fin de armonizar el legítimo desarrollo económico de las zonas agrícolas con la preservación del medio ambiente y los recursos hídricos de la población. Con ésta voluntad y desde el año 2006, GESFER, junto con el *Departament d'Agricultura, Alimentació i Acció Rural* (DAR), *l'Agència Catalana de l'Aigua* (ACA) y diferentes administraciones locales, han puesto en marcha el proyecto MillorFer como respuesta a la importancia que han adquirido los aspectos medioambientales relacionados con la prácticas en los suelos agrícolas, y más concretamente la contaminación de los recursos hídricos.

MillorFer es una red de Planes para la mejora de la fertilización agraria en Catalunya creada para generar y transferir conocimientos al sector agrario. Estos conocimientos se basan en el estudio local de las necesidades de los cultivos y la respuesta de éstos a la fertilización, así como la optimización del uso sostenible de las deyecciones ganaderas como fertilizantes. Actualmente la red cuenta con cinco planes establecidos: (1) Comarcas de la Catalunya Central; (2) Comarcas de Girona; (3) Comarca de Osona; (4) Comarcas del Baix Ebre y del Montsià; y (5), el más reciente, en las Comarcas del Vallès Occidental y el Vallès Oriental.

Este artículo muestra los resultados obtenidos a partir de las experiencias adquiridas en uno de los campos de ensayo del *Pla per la Millora de la Fertilització Agrària a la Catalunya Central*.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se inició la campaña 2008-09 y la parcela experimental se encuentra ubicada en el término municipal de Calonge de Segarra en la comarca de la Anoia. Todo el ensayo tiene una superficie total de 22800 m<sup>2</sup> y se referencia como ensayo de *Conill*. En este artículo se detallan resultados de las campañas 2008-09 y 2009-10. El área dónde está situado el ensayo de *Conill* se caracteriza por un clima tipo Seco Subhúmedo, con una temperatura media anual de 12-13°C y una precipitación de 550-650 mm que principalmente se acumula en las estaciones de otoño y primavera. La precipitación acumulada en la campaña 2008-09 ha sido de 564 mm. El suelo de la parcela experimental se caracteriza por una profundidad de más de 1 m, de textura franco arcillo limosa y con un nivel de materia orgánica muy bueno para una zona de secano. Las propiedades físicas y químicas iniciales del suelo se encuentran resumidas en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Análisis del suelo antes de aplicar los fertilizantes.

Característica	Unidades	Valor
pH agua 1:2,5	-	7,8
Conductividad eléctrica	dS m <sup>-1</sup>	0,39
Materia orgánica oxidable	%	3,82
Carbonato cálcico equivalente	%	32
Nitrógeno Kjeldahl (s.m.s)	%	0,23
Nitrógeno nítrico	mg kg <sup>-1</sup>	26
Fósforo (P) asimilable (Olsen)	ppm	39
Potasio (K)	ppm	249
Magnesio	ppm	103
Calcio	ppm	9197
Sodio	ppm	75
Arena total 0,05<D<2mm	%	13,1
Limos gruesos 0,02<D<0,05mm	%	15,4
Limos finos 0,002<D<0,02mm	%	31,8
Arcilla D>0,002mm	%	39,7
Clase textural USDA	-	Franco Arcillo Limosa

La parcela tiene un historial de fertilización orgánica continuada. Dicho ensayo pretende comparar diferentes dosis y tipos de fertilizantes orgánicos durante un periodo de varios años (más de cinco). El diseño experimental es factorial simple en bloques completamente al azar con 4 repeticiones. El factor es el tipo de fertilizante orgánico que lleva asociada una dosis. Los productos orgánicos (deyecciones ganaderas) utilizados son los habituales en la zona. Los niveles del factor que componen el diseño son los siguientes (Tabla 2).

Como se observa, a excepción del control (T1), en todos los demás tratamientos los diferentes productos orgánicos son aplicados a dosis de 100 kg N ha<sup>-1</sup> previo a la siembra (fondo) o al comienzo de la vegetación en enero-febrero (cobertera). Algunos de los tratamientos se complementan en cobertera con fertilización mineral de 50 kg N ha<sup>-1</sup>. Debido a que las aplicaciones de los productos orgánicos se realizaron con maquinaria convencional las dosis reales aplicadas distaron entre un 5 y un 10 % de las dosis teóricas planteadas. Las dimensiones de las parcelas elementales son de 45 m x 12 m exceptuando el tratamiento T1 cuyas dimensiones son de 45 m x 6 m. El tamaño de las parcelas se ha

diseñado con el propósito de que las parcelas elementales reciban el mismo manejo que una parcela comercial. De esta manera los productos orgánicos se han aplicado con maquinaria convencional.

**Tabla 2.** Niveles del factor que componen el diseño experimental.

Tratamiento	Producto	Dosis Fondo kg N ha <sup>-1</sup>	Producto	Dosis Cobertera kg N ha <sup>-1</sup>	Dosis Total
T1 – Control	-	0	-	0	0
T2 – Purín	-	0	Purín de cerdo	100	100
T3 – Purín	Purín de cerdo	100	-	0	100
T4 – Purín	Purín de cerdo	100	Mineral	50	150
T5 – Gallinaza	Gallinaza	100	-	0	100
T6 – Gallinaza	Gallinaza	100	Mineral	50	150
T7 – Estiércol conejo	Estiércol de conejo	100	-	0	100
T8 – Estiércol conejo	Estiércol de conejo	100	Mineral	50	150
T9 – Lodo EDAR	Lodo EDAR	100	-	0	100
T10 – Lodo EDAR	Lodo EDAR	100	Mineral	50	150

El purín utilizado en los tratamientos T2, T3 y T4 provenía de una granja de cerdos de ciclo cerrado. La gallinaza aplicada en los tratamientos T5 y T6 provenía de una granja de broilers, y el estiércol de conejo de los tratamientos T7 y T8 de una granja de conejos. Todas las granjas se encontraban cercanas a la parcela experimental. El lodo aplicado en los tratamientos T9 y T10 provenía de la estación depuradora de aguas residuales (EDAR) de Manresa. Con la finalidad de aplicar la dosis correcta de nitrógeno en cada parcela elemental, se procedió al análisis de todos los productos (Tabla 3). Los productos orgánicos sólidos se analizaron en laboratorio antes y después de la aplicación en campo para determinar los contenidos de N orgánico, amoniacal y total. En los productos orgánicos líquidos se estimó el contenido en nitrógeno total en campo justo antes del momento de su aplicación mediante la lectura de la conductividad eléctrica del producto la cual tiene una relación con el contenido de N (Parera *et al.*, 2008). Una vez aplicados también se realizó el análisis de laboratorio para comprobar el contenido de N.

**Tabla 3.** Análisis de los productos orgánicos aplicados.

Producto orgánico	Campaña y Momento aplicación	Materia seca %	Nitrógeno Kjeldahl %	Nitrógeno amoniacal %	Nitrógeno total kg t <sup>-1</sup>
Purín ciclo cerrado	08-09 fondo	4,4	2,72	7,90	4,7
	08-09 cobertera	3,7	3,19	9,83	4,8
	09-10 fondo	4,3	3,22	6,81	4,3
	09-10 cobertera	4,3	2,97	9,22	5,2
Gallinaza	08-09 fondo	61,8	5,53	1,44	43,1
	09-10 fondo	40,2	3,89	2,19	24,4
Estiércol de conejo	08-09 fondo	24,7	1,88	1,62	8,7
	09-10 fondo	31,2	1,96	0,99	9,2
Lodo de EDAR	08-09 fondo	49,9	1,47	1,06	12,6
	09-10 fondo	42,4	1,09	1,18	9,6

Todas las muestras de suelo y productos orgánicos se analizaron en un laboratorio inscrito en el Registro de los laboratorios agroalimentarios de Catalunya. La fertilización de fondo se llevó a cabo aproximadamente un mes antes de la siembra. Únicamente en la campaña 2009-10 se aplicó 90 kg K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> en forma de KCl para cubrir las extracciones y mantener los niveles de potasio en el suelo. En la campaña 2008-09 se sembró cebada (var. Meseta), y en la campaña 2009-10, trigo (var. Nogal). La siembra se realizó mediante siembra directa a mediados de noviembre y de octubre respectivamente. La densidad de siembra fue de 200 kg semillas ha<sup>-1</sup> (correspondiente a 450 semillas m<sup>-2</sup>) en las dos campañas. A mediados de marzo, coincidiendo con el estadio de ahijamiento, se hizo la fertilización de

cobertera. En los tratamientos T4, T6, T8 y T10 se aplicó nitrato amónico cálcico en la campaña 2008-09 y nitrosulfato amónico en la campaña 2009-10 a las dosis establecidas siguiendo el diseño.

Los controles realizados que se muestran en este artículo corresponden a la evolución del contenido de nitrógeno mineral del suelo (NmS). Para evaluar la evolución de los nitratos en el suelo se muestreó por duplicado cada parcela elemental a 3 profundidades (0-30 cm, 30-60 cm, 60-90 cm), en distintos momentos del ciclo agrícola: pre-siembra, pre-cobertera y post-cosecha. La cosecha de la campaña 2008-09 se efectuó a principios de julio mediante una cosechadora convencional. Para determinar el rendimiento de cada tratamiento de fertilización, la producción de grano de cada parcela elemental se pesó mediante un remolque auto pesante.

Los resultados que se muestran a continuación corresponden al rendimiento en grano de la campaña 2008-09 y el contenido de nitrógeno del suelo comprendido desde el inicio del experimento hasta el muestreo de pre-cobertera de la campaña 2009-10.

## RESULTADOS Y DISCUSION

Dado la escasa antigüedad del ensayo, los resultados que aquí se presentan pueden considerarse como resultados preliminares que muestran las primeras fases de respuesta del cultivo a la aplicación de dosis y tipos de fertilizantes las cuales se irán matizando en las posteriores campañas.

### Rendimiento del cultivo según los productos fertilizantes orgánicos aplicados

En la Figura 1 se muestran los rendimientos del primer año donde se observan muy pocas diferencias significativas entre tratamientos. Esta falta de respuesta efectiva es coherente con la poca diferencia entre el testigo sin fertilizar (T1) y los demás tratamientos. En general no hay un producto en concreto que muestre una ventaja productiva sobre los demás. Globalmente, en este primer año, se observa que sí que hay una tendencia de incremento positivo del rendimiento en la dosis (únicamente significativo en el caso del estiércol de conejo) y específicamente en el complemento de fertilización mineral de 50 kg N ha<sup>-1</sup>.

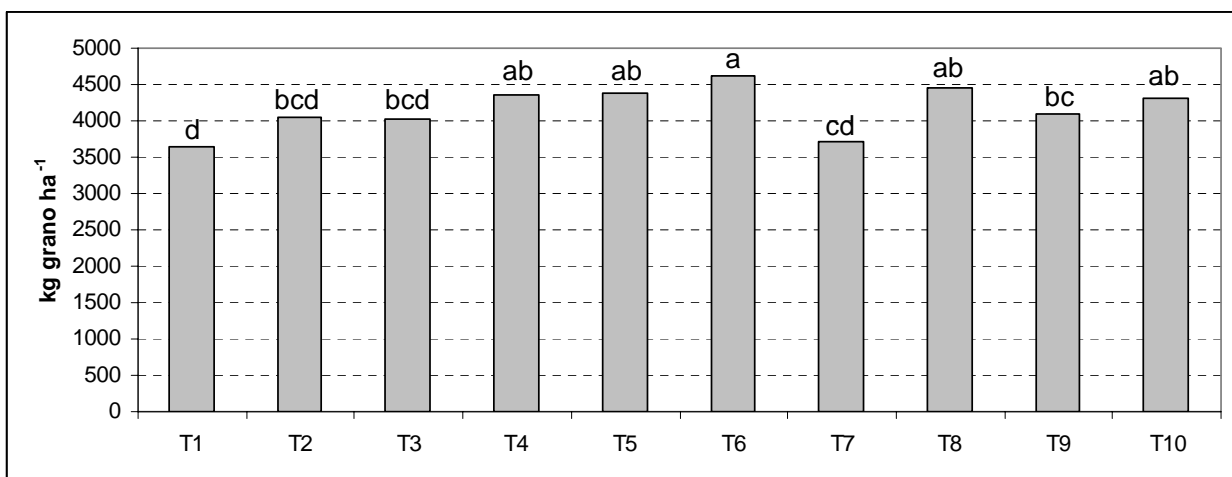


Figura 1. Rendimiento en cosecha según tratamiento.

### Evolución del nitrógeno mineral del suelo (NmS) y su relación con el rendimiento

En la Figura 2 se muestra la evolución del NmS en el periodo analizado (2008 a 2010). Como media de todos los tratamientos, se observa un descenso del NmS. El contenido medio de partida en el perfil del suelo (0-90 cm de profundidad) fue de 262 kg N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> ha<sup>-1</sup> (pre-siembra 2008). El contenido medio de NmS en el último muestreo (pre-cobertera 2010) ha sido de 174 kg N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> ha<sup>-1</sup>. Esta tendencia decreciente se justifica en dos hechos: (1) Todas las dosis utilizadas son menores globalmente que las aplicadas de forma habitual y (2) la campaña 2008-09 con una buena pluviometría ha facilitado las producción y con ello las extracciones de N por parte del cultivo.

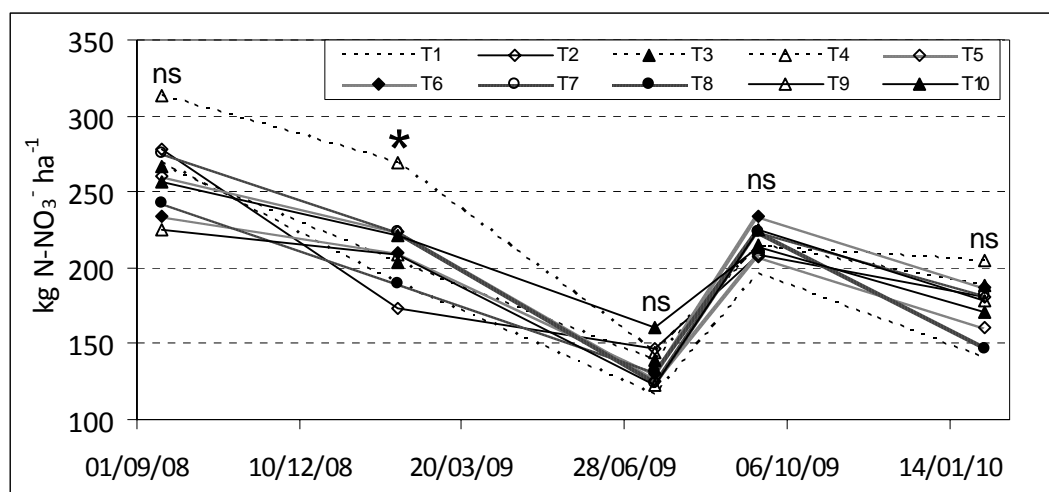


Figura 2. Evolución del NmS en el periodo pre-siembra 2008 – pre-cobertera 2010.

\* nivel de significación < 0,05.

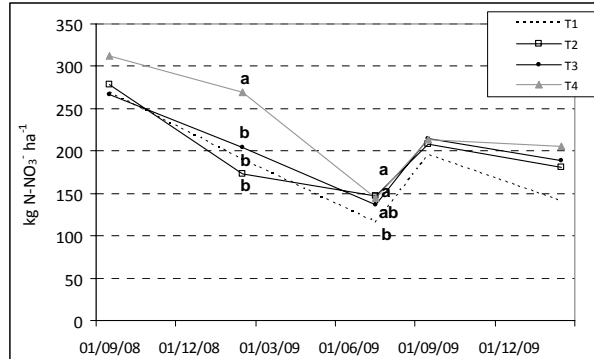
A nivel global y tratándose de los dos primeros años del ensayo es difícil encontrar una relación consistente entre el NmS y el rendimiento. Sin embargo es interesante analizar esta relación agrupando los tratamientos por tipo de producto orgánico aplicado. Analizando la estrategia de la aplicación de PURIN en cobertera y en fondo, complementada o no con cobertera mineral, se observan diferencias estadísticamente significativas del NmS en pre-cobertera y post-cosecha de la primera campaña (Figura 3). En pre-cobertera 2008-09 el tratamiento T4, con un mayor contenido de NmS, se diferencia estadísticamente del resto de tratamientos. Teniendo en cuenta que los tratamientos T3 y T4 han recibido aproximadamente la misma dosis de N en fondo este hecho sólo puede explicarse por el mayor contenido de nitrógeno mineral en el suelo del T4 en el inicio. En post-cosecha de 2008-09, los tratamientos T4 y T2 se diferencian estadísticamente del tratamiento T1. La aplicación de nitrógeno mineral en cobertera (T4) supuso un aumento estadísticamente significativo en la producción respecto al tratamiento control (T1); por el contrario las diferencias respecto a los tratamientos T2 y T3 no fueron estadísticamente significativas (Tabla 4).

Tabla 4. Producción de grano en kg grano ha<sup>-1</sup>.

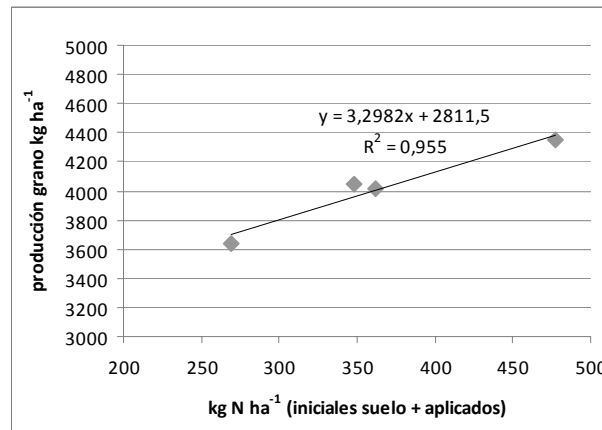
Tratamiento	Producción
T1	3642 b
T2	4043 ab
T3	4012 ab
T4	4331 a

Si se relaciona la suma del NmS antes de la fertilización de fondo y el nitrógeno aplicado durante el ciclo agrícola con el rendimiento en el momento de la cosecha, se obtiene una relación lineal con un

coeficiente de correlación elevado, hecho que indica la relación existente entre el nitrógeno aplicado y el rendimiento (Figura 4) siendo el aumento de producción estadísticamente significativo.



**Figura 1.** Evolución del contenido de nitrógeno en el suelo tratamientos con aplicación purín.

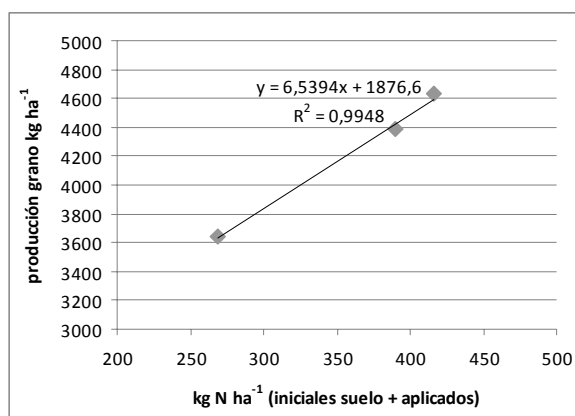


**Figura 2.** Relación entre el nitrógeno del suelo y la producción en los tratamientos con aplicación de purín.

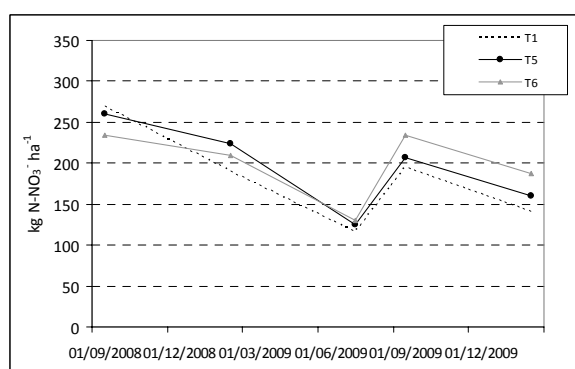
En la estrategia de aplicación de GALLINAZA en fondo complementada o no con cobertera mineral no se observaron diferencias estadísticamente significativas en la evolución del NmS (Figura 5). A partir de la fertilización de cobertera de la campaña 2008-09, el tratamiento T6 tiende a un NmS mayor. Por otro lado, la aplicación de nitrógeno mineral en cobertera no supuso un aumento estadísticamente significativo en la producción aun que sí respecto al tratamiento control (Tabla 5). En el caso de la aplicación de gallinaza existe una relación entre la suma del NmS antes de la fertilización de fondo y nitrógeno aplicado durante todo el ciclo agrícola con el rendimiento en el momento de la cosecha (Figura 6).

**Tabla 5.** Producción de grano en kg grano ha<sup>-1</sup>.

Tratamiento	Producción
T1	3642 b
T5	4383 a
T6	4630 a



**Figura 3.** Relación entre el nitrógeno del suelo y la producción en los tratamientos con aplicación de gallinaza.

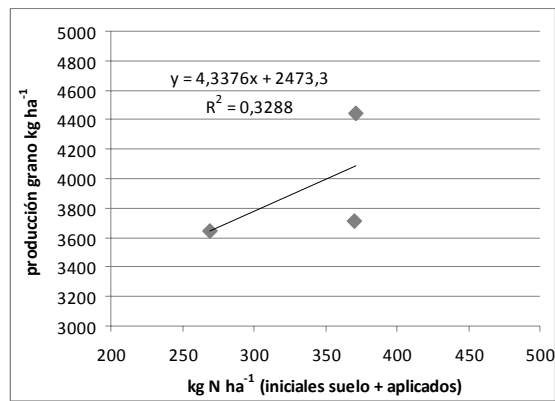


**Figura 4.** Evolución contenido nitrógeno en el suelo en los tratamientos de aplicación de gallinaza.

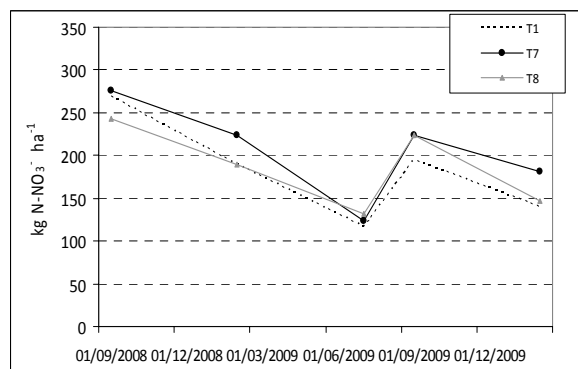
**Tabla 6.** Producción de grano en kg grano ha<sup>-1</sup>.

Tratamiento	Producción
T1	3642 b
T7	3714b
T8	4444 <sup>a</sup>

En la estrategia de aplicación de ESTIERCOL DE CONEJO en fondo complementada o no con cobertera mineral no se observaron diferencias estadísticamente significativas en la evolución del NmS (Figura 8). Por otro lado, la aplicación de nitrógeno mineral en cobertera sí que supuso un aumento estadísticamente significativo en la producción (Tabla 6), este hecho puede ser debido a que el estiércol de conejo tiene una relación C/N mayor que el purín y la gallinaza (Buxadé C., 1996) por lo que una parte del nitrógeno será más lentamente disponible para el cultivo. Al contrario que en los anteriores casos, se observa una baja relación entre la suma del NmS antes de la fertilización de fondo y nitrógeno aplicado durante todo el ciclo agrícola con el rendimiento en el momento de la cosecha (Figura 7), posible consecuencia de la mayor relación C/N del estiércol de conejo.



**Figura 5.** Relación entre el nitrógeno del suelo y la producción en los tratamientos con aplicación de estiércol de conejo.



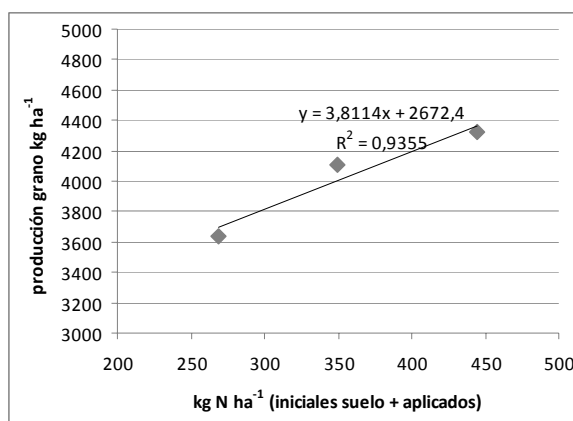
**Figura 6.** Evolución contenido nitrógeno en el suelo en los tratamientos de aplicación de estiércol de conejo.

En la estrategia de aplicación de LODO EDAR en fondo complementada o no con cobertera mineral no se observaron diferencias estadísticamente significativas entre los múltiples tratamientos respecto a la evolución del NmS (Figura 10). Aun así, a partir del primer muestreo de pre-cobertera de la campaña 2008-09, los tratamientos fertilizados (T9 y T10) evolucionan hacia un NmS mayor que el tratamiento control (T1). La aplicación de nitrógeno mineral en cobertera sí que supuso un aumento estadísticamente significativo en la producción en comparación con el tratamiento control (T1) (Tabla 7). En el caso de la aplicación de lodo existe una relación entre la suma del NmS antes de la fertilización de fondo y nitrógeno aplicado durante todo el ciclo agrícola con el rendimiento en el momento de la cosecha (Figura 9).

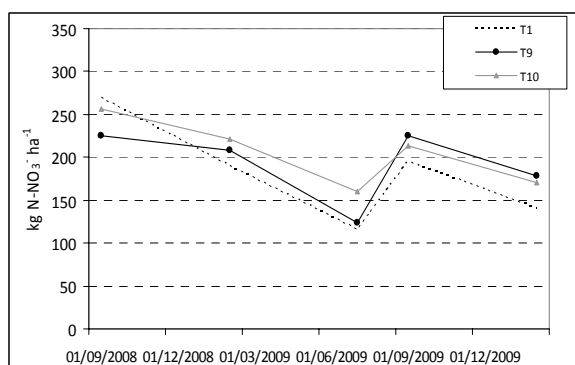
**Tabla 7.** Producción de grano en kg grano ha<sup>-1</sup>.

Tratamiento	Producción
T1	3642 b
T9	4104ab
T10	4320 <sup>a</sup>





**Figura 7.** Relación entre el nitrógeno del suelo y la producción en los tratamientos con aplicación de lodo de EDAR.



**Figura 8.** Evolución contenido nitrógeno en el suelo de los tratamientos con aplicación de lodo de EDAR.

## CONCLUSIONES

Se ha partido de un contenido de nitrógeno mineral del suelo alto, aún así todos los tratamientos evolucionan disminuyendo su contenido. Este hecho indica que las dosis aplicadas en los distintos tratamientos son inferiores a las aplicadas históricamente por el agricultor.

Hay una tendencia a disminuir el contenido de nitrógeno del suelo lo que mejorará la observación de diferencias entre tratamientos en futuras campañas, sobretodo entre el tratamiento control y los tratamientos sin aplicación de nitrógeno mineral en cobertera.

En todos los tratamientos se produce un aumento considerable del contenido de nitrógeno mineral en el suelo en el periodo estival comprendido entre post-cosecha y pre-siembra. Este incremento es debido principalmente a la mineralización de la materia orgánica del suelo, lo cual va a permitir tener una cuantificación de la mineralización del N en estos sistemas agrícolas y con la aplicación de estos productos.

La relación C/N de los fertilizantes orgánicos empleados tiene un efecto en la respuesta del cultivo a la adición de fertilizante mineral en cobertera.

A excepción de los tratamientos con aplicación de estiércol de conejo, el hecho de aplicar 50 kg N ha<sup>-1</sup> en forma de abono mineral en cobertera, como complemento a un aporte de 100 kg N ha<sup>-1</sup> en forma de

fertilizante orgánico en fondo, no supuso un aumento de producción estadísticamente significativo, por lo que se puede afirmar que con los niveles de nitrógeno observados en el suelo, no existe respuesta a la fertilización de cobertera. Existe una relación entre la suma del nitrógeno mineral del suelo antes de la fertilización de fondo y el nitrógeno aplicado durante todo el ciclo agrícola con el rendimiento en el momento de la cosecha, aunque para estos primeros estadios, el incremento de producción en la mayoría de los casos no es estadísticamente significativo.

## **REFERENCIAS**

- Buxadé, C. (1996). *Zootecnia Bases de la producción animal. Tomo X*. Mundi-Prensa. Madrid.
- Parera, J., Domingo, F., Canut, N., Serra, J. (2008). Determinación rápida de los nutrientes del purín de cerdo in situ en base a la lectura de la conductividad eléctrica (CE) para una correcta fertilización. *Actas del Primer Congreso Español de Gestión Integral de Deyecciones Ganaderas*. 237-242.