

Ahorro, Eficiencia Energética

y Fertilización Nitrogenada



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE INDUSTRIA, TURISMO
Y COMERCIO



Instituto para la
Diversificación y
Ahorro de la Energía

Agricultura

Ahorro y Eficiencia Energética en la Agricultura 6

Ahorro, Eficiencia Energética

y Fertilización Nitrogenada



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE INDUSTRIA, TURISMO
Y COMERCIO



Instituto para la
Diversificación y
Ahorro de la Energía

TÍTULO

Ahorro, Eficiencia Energética y Fertilización Nitrogenada

AGRADECIMIENTOS

Se agradece especialmente la valiosa colaboración del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, el apoyo técnico asesor del Instituto Técnico y de Gestión Agrícola, S.A. (ITGA), y la colaboración de una serie de entidades y expertos, entre los que cabe destacar a la Red de Uso Eficiente del Nitrógeno en Agricultura (RUENA) y a las asociaciones ANFEE (Asociación Nacional de Fabricantes de Fertilizantes) y ACEFER (Asociación Comercial Española de Fertilizantes).

.....
Esta publicación ha sido elaborada y editada por IDAE, y está incluida en el fondo editorial de este Instituto, en la Serie “Ahorro y Eficiencia Energética en la Agricultura”.

Cualquier reproducción, total o parcial, de la presente publicación debe contar con la aprobación del IDAE.

Depósito Legal: M-33654-2007
ISBN: 978-84-96680-13-5

IDAE

Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía

c/Madera, 8

E- 28004 - Madrid

comunicacion@idae.es

www.idae.es

Madrid, julio 2007

Prólogo

El cambio climático y el calentamiento global cobran actualidad cada vez de una manera más significativa y España no es una excepción en ese sentido. Este fenómeno global que viene sufriendo nuestro planeta necesita del esfuerzo de todos los sectores para abordarlo; sin embargo, el consumo energético sigue creciendo en nuestra sociedad y especialmente en nuestro país de manera alarmante.

El sector de la agricultura también presenta una tendencia al crecimiento del consumo de energía, con sus consecuentes efectos negativos sobre la competitividad de los productos (costes) y sobre el medio ambiente (emisiones).

Normalmente se habla de consumo energético refiriéndose exclusivamente a las energías primarias utilizadas directamente en los procesos productivos, de consumo doméstico... Y así, al referirse al consumo energético en la agricultura se trata fundamentalmente del consumo de gasóleo de los tractores, o del consumo eléctrico de los motores que se utilizan para el bombeo del agua de riego o en las instalaciones ganaderas.

En la percepción del consumo energético es necesario dar un paso más hacia delante y considerar las materias primas utilizadas en los procesos productivos como consumos de energía secundaria. Se ha de aprender a considerar un sistema productivo en su conjunto, con unas entradas al sistema que son los combustibles y materias primas utilizadas y unas salidas que son los productos o cosechas.

Una materia prima utilizada sobre un cultivo tiene asociado un coste energético que procede tanto de la energía empleada en su fabricación como en su transporte, almacenamiento y distribución necesarios, hasta que ese producto llega al almacén del agricultor que va a utilizarlo en sus cultivos. Este coste energético es muy importante en el caso de los fertilizantes nitrogenados, como se pretende mostrar en esta publicación.

Por tanto, al estudiar el posible Ahorro y la Eficiencia Energética de una explotación agraria es normal que se traten de identificar los puntos críticos de mayor consumo para actuar sobre ellos y, como se verá más adelante, éstos son el gasóleo y el fertilizante.



Cómo puede el agricultor reducir su consumo energético sin afectar a la rentabilidad de sus cultivos es uno de los objetivos principales de la parte agrícola del Plan de Acción 2005-2007 de la Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética en España 2004-2012 (aprobado en Consejo de Ministros de 8 de julio de 2005) y que está desarrollando el IDAE en colaboración con las Comunidades Autónomas.

Este Plan, como una de las primeras medidas en favor del ahorro y la eficiencia energética, prevé la realización de medidas de formación e información de técnicas de uso eficiente de la energía en la agricultura, con el fin de introducir y concienciar a los agentes del sector sobre la importancia del concepto de eficiencia energética.

Por todo lo anterior, y siendo conscientes de que el agricultor y el ganadero pueden tener una incidencia en el ahorro energético, el IDAE, siempre contando con la colaboración del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, está realizando una serie de acciones en materia de formación, información y difusión de técnicas y tecnologías de eficiencia energética en el sector. Una de estas acciones es el desarrollo de una línea editorial en materia de eficiencia energética en el sector agrario mediante la realización de diversos documentos técnicos, como el que se presenta, donde se explican los métodos de reducción del consumo de energía en las diferentes tareas agrarias.

En este sentido, ya se han publicado y están disponibles en nuestra página web¹, los siete primeros documentos de esta línea editorial:

- Tríptico promocional: “Medidas de Ahorro y Eficiencia Energética en la Agricultura”
- Documento especial (coeditado con el MAPA): “Consumos Energéticos en la Operaciones Agrícolas en España”
- Documento nº 1: “Ahorro de Combustible en el Tractor Agrícola”
- Documento nº 2: “Ahorro y Eficiencia Energética en Agricultura de Regadío”
- Documento nº 3: “Ahorro y Eficiencia Energética en Instalaciones Ganaderas”
- Documento nº 4: “Ahorro, Eficiencia Energética y Sistemas de Laboreo Agrícola”
- Documento nº 5: “Ahorro, Eficiencia Energética y Estructura de la Explotación Agrícola”

Desde el IDAE pensamos con optimismo que el uso racional de la energía deberá formar parte de todas las decisiones que afecten al sector, convencidos de que los profesionales que actúen en este sector sabrán valorar las iniciativas que se proponen.

Actualmente la mayor parte de la atención del sector agrario se centra en las oportunidades que el sector energético ofrece a la agricultura como productores de energías renovables: biocarburantes, biomasa,...., y en menor medida en otro tipo de energías renovables como la solar fotovoltaica y la eólica.

Pero es fundamental una atención primordial a la demanda, que depende mucho más de nosotros que la oferta. Es necesario hacer, de una vez por todas, de la eficiencia energética y de la utilización racional de la energía objetivos realmente prioritarios.

Es de vital importancia que los programas públicos de apoyo incorporen la eficiencia energética como un elemento prioritario, partiendo de la formación de formadores y agentes, y primando aquellos equipos más eficientes.

⁽¹⁾ www.idae.es

Visitar: Plan de Acción de Ahorro y Eficiencia - Proyectos IDAE - Agricultura y pesca - Documentos de ahorro y eficiencia energética en la agricultura.

Introducción

En las primeras publicaciones de la línea editorial técnica de ahorro y eficiencia energética en la agricultura se ha abordado el consumo de gasóleo en los tractores y de electricidad en los motores utilizados en los sistemas de regadío y en las instalaciones ganaderas; es decir, las energías primarias utilizadas directamente en los procesos productivos.

Sobre estas energías primarias es preciso aplicar criterios de ahorro y uso eficiente y en ello se ha profundizado ampliamente en los cinco primeros números citados de la línea editorial de IDAE.

Ahora es el momento en el que se aborda el consumo de materias primas en la producción como otro de los elementos decisivos de ahorro energético en el sector agrario.

Realizar este trabajo es una tarea compleja dada la diversidad de materias primas utilizadas en la producción agraria: fertilizantes, fitosanitarios, semillas, plásticos, etc. Por ello, con esta publicación no se pretende hacer un tratado científico sobre los costes energéticos de todas las posibles materias primas, sino que se ha centrado el esfuerzo en una de las de mayor significación energética: los fertilizantes nitrogenados.

Y por fertilizantes nitrogenados se entiende a los fertilizantes minerales que contienen nitrógeno, tanto simples como complejos.



Abonadora en camino.

El objetivo es despertar el interés por asociar el consumo de materias primas con el consumo energético y con el cambio climático, y por tanto, incorporar el sentido de ahorro y eficiencia energética al uso de cada una de las materias primas.

Es indudable que los fertilizantes nitrogenados son actualmente necesarios en nuestra sociedad ya que gracias a ellos se mejora la productividad de los cultivos (después del agua y la temperatura se puede considerar como el tercer factor en importancia), obteniéndose importantes beneficios en la producción de alimentos y de biocarburantes.

Pero, como sucede con otros inputs, tales como la energía o el agua, son bienes escasos que hay que manejar de forma eficiente, tanto en su producción como en su aplicación, optimizando los rendimientos de los cultivos, en el marco de las políticas europeas de desarrollo sostenible y respeto al medio ambiente.

En esta publicación, una vez presentado el elevado coste energético de los fertilizantes minerales nitrogenados, se analizarán alternativas que permitan reducir al máximo su uso en las explotaciones agrarias o bien utilizarlos lo más eficientemente posible.

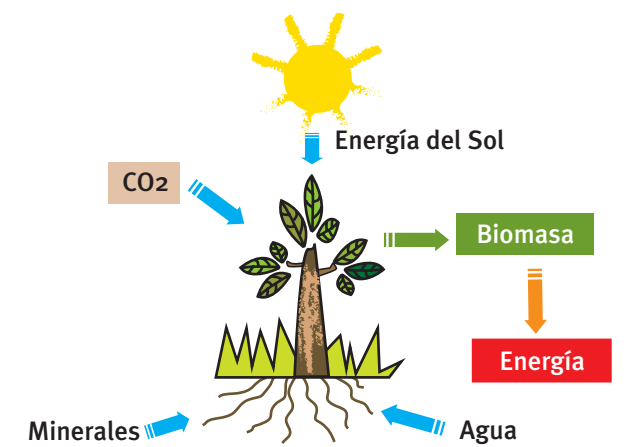
Finalmente se relacionan unas conclusiones prácticas sobre Ahorro y Uso Eficiente de los Fertilizantes Nitrogenados en los cultivos, sin dejar nunca de lado la rentabilidad que dichos cultivos deben proporcionar al agricultor.

1 Ahorro energético y fertilización

Una de las particularidades de la agricultura, sin duda la más importante, está en el hecho de que las plantas en general y los cultivos agrícolas en particular son capaces de utilizar directamente la energía procedente del Sol y transformarla en materia vegetal, gracias a la fotosíntesis. Esa materia vegetal, a la que llamamos biomasa, es la base energética para alimentar directa o indirectamente a todos los seres vivos del planeta.

En los últimos años esta biomasa está pasando además a ser materia prima para la producción de energía. Se puede pensar que la biomasa es una de las formas más eficientes de incorporar la energía que nos llega del Sol a nuestro planeta Tierra.

Gráfico 1. Proceso agroenergético de la producción vegetal



Pero también es cierto que la agricultura, al igual que todas las actividades productivas en uso, necesita utilizar energía para hacer posible la obtención de las cosechas. Así, la producción agrícola de alimentos es posible gracias al uso de máquinas agrícolas que consumen gasóleo y a la utilización de materias primas como los fertilizantes, fitosanitarios o semillas, cuya producción y transporte también ha tenido un coste energético, a menudo muy significativo.

Este hecho hace que la producción agraria, bien sea para alimentación o de biomasa para usos energéticos, pueda ser analizada desde el punto de vista

energético. Los llamados *Balances Energéticos de los Sistemas Productivos* buscan conocer la relación que hay entre la energía producida y la energía consumida o utilizada para producirla.

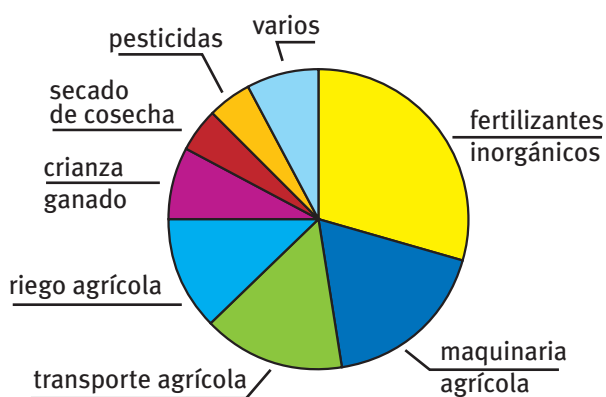
Es fácil comprender lo ridículo que resultaría que para producir, por ejemplo, 1 kilogramo de colza para biodiésel con un valor energético de 100 se necesitara utilizar energía por un valor superior, por ejemplo de 110.

1.1 Costes energéticos de la producción agrícola

El funcionamiento de los agrosistemas actuales se basa en dos flujos energéticos: uno natural, que corresponde a la energía solar, y otro auxiliar, controlado directamente por el agricultor, que recurre al uso de combustibles fundamentalmente fósiles, ya sea directamente o en forma indirecta, a través de las materias primas industriales que emplea en el proceso productivo.

El primer flujo es el propio o natural de funcionamiento del ecosistema, es una energía, el Sol, abundante, renovable, gratuita y limpia. El segundo flujo corresponde a energía almacenada, normalmente el petróleo, de existencias finitas, relativamente cara y, por lo general, no limpia en el momento en el que su uso da origen a fenómenos de contaminación como la producción de CO₂, responsable en gran medida del cambio climático.

Gráfico 2. Consumos energéticos de la producción agrícola. (Fuente: McLaughlin y col., 2000)



Los principales consumidores de energía en la agricultura moderna son la mecanización, los fertilizantes inorgánicos y, en menor medida, el riego y los pesticidas. En los años 70 la mecanización fue el mayor consumidor de energía de la agricultura, con 51% del total mundial (entre el 8% en el Extremo Oriente y 73% en Oceanía). Los fertilizantes son el segundo responsable del consumo de energía por la agricultura mundial que representó, en el periodo señalado, alrededor del 45% (entre el 84% en el Oriente y el 26% en Oceanía).

1.2 Balance energético de un cultivo convencional

Un balance energético es una operación sencilla de entradas y salidas de energía necesarias para producir un producto como el trigo, cebada, girasol, colza, etc.

Las Entradas (input) serán, en primer lugar, las energías primarias utilizadas, como el gasóleo de los tractores y máquinas que laborean la tierra, siembran, cosechan o transportan la cosecha. Pero también se ha de tener en cuenta las energías secundarias, procedentes del uso de las materias primas y de los materiales. Es el caso de los fertilizantes, fitosanitarios, semillas y de los propios tractores y máquinas en sí mismos. Por ejemplo, si producir y transportar cada kilogramo de fertilizante tiene un coste energético determinado, este coste se ha de cargar al cultivo en el que se aplique al hacer su balance energético.

Las Salidas (output) corresponden al valor energético de las cosechas, del cultivo producido y comercializado.

El Balance Energético de un cultivo consistirá en relacionar las entradas con las salidas de energía, expresadas en las mismas unidades. Los balances energéticos pueden expresarse bien en valores absolutos de *Energía Neta ganada o perdida*, procedente de la diferencia entre *Entradas* y *Salidas* de energía, expresada normalmente en megajulios por hectárea (MJ/ha), o bien en valores relativos, como *Eficiencia Energética del cultivo*, procedente del cociente entre *Salidas* y

Entradas de energía, y expresado en unidades de eficiencia. Así se puede decir que, por ejemplo, el cultivo de colza produce cinco veces más energía que la consumida (Ciria, 2006).

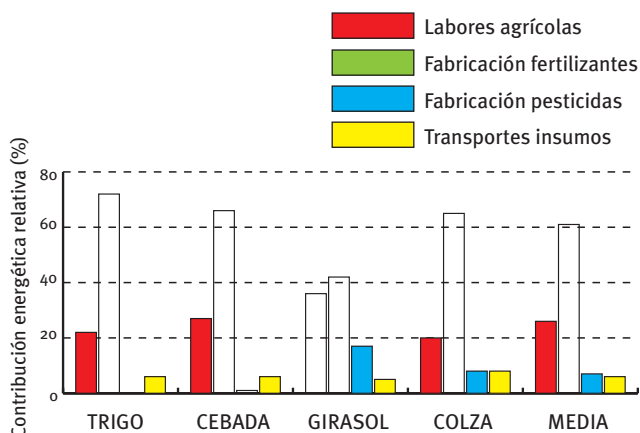
Gráfico 3. Balance energético de la producción agrícola. (Fuente: CIEMAT)



Como ejemplo, a continuación se muestran en el gráfico 4, los resultados del estudio realizado en cuatro cultivos: trigo, cebada, girasol y colza, para producir biocarburantes. Se ha elegido este estudio por su consistencia, al haber sido realizado por el Ciemat en coordinación con el Ministerio de Medio Ambiente y el Ministerio de Educación y Ciencia.

En el citado estudio se evaluaron las entradas y salidas de los cultivos citados y se obtuvieron balances energéticos globales muy representativos de los procesos de producción agrícola de estas materias primas para la industria energética.

Gráfico 4. Contribución energética relativa (%) de los principales componentes de la producción agrícola para distintos cultivos. (Fuente: "Análisis del ciclo de vida de combustibles alternativos para el transporte". Ministerio de Medio Ambiente, Ministerio de Educación y Ciencia, y Ciemat, 2005-2006)



El gráfico muestra claramente la importancia relativa de los distintos componentes energéticos analizados, pudiendo llegarse a la conclusión de que el gasóleo y los fertilizantes son los dos componentes fundamentales del balance energético de un cultivo.

En el caso de los cultivos analizados, trigo, cebada, girasol y colza, el consumo medio de gasóleo representa más del 25% del total del consumo energético del cultivo y el consumo medio de los fertilizantes, especialmente los nitrogenados, representa más del 60% del total de energía utilizada en el cultivo.

1.3 Fertilizantes y coste energético

El uso de los fertilizantes para incrementar el rendimiento de los cultivos es uno de los medios más eficaces de los que se dispone para aumentar la productividad de los mismos.

De modo que cuanto mejor sea el conocimiento sobre la nutrición de las plantas tanto mayor será la eficiencia del fertilizante utilizado. La fertilización



Testigo sin nitrógeno en trigo.

persigue adaptarse a las exigencias nutritivas de las plantas incluyendo sus circunstancias particulares. Si se saben las necesidades minerales de los cultivos y el potencial del suelo, es probable el éxito de la fertilización.

Los cultivos necesitan de varios elementos para crecer y tener óptimas producciones y la fertilización se

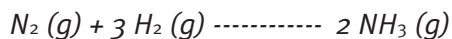
basa principalmente en tres de estos elementos: nitrógeno, fósforo y potasio. En 2005, los agricultores en España aplicaron 927.000 toneladas de nitrógeno, 513.000 de P₂O₅ y 414.000 de K₂O (Fuente MAPA-ANFFE).

En los cultivos, el fósforo y el potasio son elementos que se requieren en menor cantidad que el nitrógeno (excepto para algunas especies), además son relativamente estables en el suelo, de modo que su aporte únicamente se relaciona con las exportaciones del cultivo. *Por el contrario, el nitrógeno tiene una dinámica especial en el suelo, ya que los compuestos asimilables por las plantas, el nitrato y el amonio son muy susceptibles de pérdidas.*

La Energía Utilizada industrialmente en la síntesis de los distintos fertilizantes minerales nitrogenados presenta valores variables dependiendo de las fuentes consultadas. Sin embargo, bajo las mismas condiciones, esta variabilidad es baja entre fertilizantes nitrogenados.

La industria de los fertilizantes minerales se fundamenta en la síntesis química del amonio, proceso que requiere un elevado consumo energético.

El amonio, que es la base de los fertilizantes nitrogenados, se obtiene exclusivamente por el método denominado Haber-Bosh. El proceso consiste en la reacción directa entre el nitrógeno y el hidrógeno gaseosos.



La velocidad a la que se forma amoniaco es casi nula a temperatura ambiente. Es una reacción muy lenta, puesto que tiene una elevada energía de activación, consecuencia de la estabilidad del N₂. La solución que dio Haber al problema fue utilizar un catalizador (óxido de hierro que se reduce a hierro en la atmósfera de H₂) y aumentar la presión, ya que esto favorece la formación del producto.

En la práctica, las plantas de síntesis de amoniaco operan a una presión de 300 atm y a una temperatura entre 400 y 600 °C.

Tanto la síntesis de fertilizantes de fósforo como de potasio requieren entre cuatro y cinco veces menos energía que la síntesis del nitrógeno.

El valor energético de los fertilizantes químicos incluye el gasto de fabricación más el contenido energético del producto, y se estima en 19.120 kcal/kg de elemento puro de nitrógeno (N), 3.346 kcal/kg de fósforo (P), y 2.151 kcal/kg de potasio (K) (Naredo y Campos, 1980).

En los siguientes ejemplos se han tomado algunas fuentes distintas que si bien muestran alguna diferencia en el valor energético de los fertilizantes nitrogenados, las variaciones son pequeñas.

En la estadística del MAPA en el uso de los fertilizantes en España en el año 2005 se muestra como de las 927.369 toneladas de nitrógeno elemental utilizadas, un 27% fue en forma de abonos complejos, un 25% en forma de nitrato amónico cálcico y un 23% en forma de urea.

Tabla 1. Valor energético de síntesis de distintas fuentes de nitrógeno. (Fuente: Audesley, 1997)

Fertilizante nitrogenado	Energía de producción (MJ/kg de N)
Nitrato amónico cálcico 27%	46
Nitrato amónico 33,5%	44
Sulfato amónico 21%	45
Urea	63

Existen en el mercado distintos programas informáticos capaces de realizar balances energéticos de los cultivos que utilizan complejas tablas de materias primas, trabajos agrícolas y productos finales en las que se ofrecen referencias de su valor energético (ejemplo Planete de Solagro).

Tabla 2. Valor energético de síntesis de distintas fuentes de nitrógeno.

(Fuente: Gestor Planete de Solagro [ITCF], 2006)

Fertilizante nitrogenado	Energía de producción (MJ/kg de N)
Urea	64,65
Otras formas de nitrógeno mineral	52,62

La producción de fertilizantes nitrogenados depende exclusivamente de fuentes de energía no renovables.

Aunque en el transcurso de los años la eficiencia del proceso de obtención de amonio ha crecido considerablemente, unas tres veces en las últimas cinco décadas, *estos fertilizantes sintéticos suponen del orden del 70% de la energía usada en la producción agrícola en los países en desarrollo y del 40% en los desarrollados* (José Olivares Pascual, estación experimental CSIC Granada).



Agricultor aportando el abono.

En conclusión, los fertilizantes nitrogenados suponen ellos solos más de la mitad del coste energético de los cultivos y de ahí la importancia de hacer un uso eficiente de ellos en cualquier Programa de Ahorro y Eficiencia Energética.

1.4 Importancia de los cultivos según sus requerimientos nitrogenados

Si se observa el consumo de fertilizantes en España enseguida se puede ver de qué modo el nitrógeno es el elemento fertilizante más utilizado, aproximadamente el doble que cada uno de los otros dos elementos fundamentales, el fósforo y el potasio. Esto, unido a que su coste energético es seis veces superior al del fósforo y nueve veces superior al de la potasa, hace necesario centrarse en el nitrógeno como el factor de consumo energético más significativo de los cultivos.

El 85% del coste energético de los fertilizantes minerales utilizados en España en el año 2004 se debió al uso de fertilizantes nitrogenados.

Tabla 3. Consumo de fertilizantes en España desde 1996 a 2004. (Fuente: MAPA)

CONSUMO TOTAL DE FERTILIZANTES (kg/ha)			
	Nitrógeno	Fósforo (P ₂ O ₅)	Potasio (K ₂ O)
1996	69,7	33,8	27,2
1997	62,1	33,4	28,6
1998	67,7	38,8	30,8
1999	73,4	38,6	30,2
2000	77,0	34,3	28,6
2001	69,8	37,7	28,9
2002	62,9	37,1	30,1
2003	74,6	38,0	30,6
2004	70,6	38,5	33,8

Es necesario obtener una visión global de qué cultivos ocupan una superficie significativa dentro del territorio español y de qué requerimientos nitrogenados tienen, de forma que se puedan seleccionar los cultivos sobre los que merece más la pena trabajar de cara a una buena gestión de la fertilización nitrogenada y consecuentemente de cara a un ahorro global de energía en la agricultura.

De forma general, España es un país cerealista, ya que aproximadamente el 50% de la superficie cultivada es cereal. Los cereales son cultivos que representan grandes requerimientos de nitrógeno (90 kg N/ha en el promedio de 2004, fruto no obstante de grandes diferencias entre los cereales de secano, como la cebada o el trigo, y los más propios del regadío, como el maíz o el arroz). No se habla de praderas y pastizales porque, aunque suponen una superficie muy significativa en España, en su mayor parte no utilizan fertilizantes minerales.

Los cereales son cultivos donde generalmente se utilizan dosis bajas de nitrógeno por hectárea, aunque debido a su gran superficie suponen grandes consumos totales de nitrógeno.

Tabla 4. Superficies de cultivos en España.

(Encuesta MAPA '06)

Cultivo o cubierta	Superficie (ha)	
	Secano	Regadío
Cereales grano (CE)	5.672.716	886.896
Leguminosas grano (LE)	247.654	21.821
Industriales (IN)	586.929	201.268
Forrajeras (FO)	580.318	281.513
Hortalizas y flores (HO)	26.445	175.961
Frutales cítricos (CI)	13.357	307.173
Frutales no cítricos (FR)	796.238	248.828
Viñedo (VI)	818.208	317.490
Olivar (OL)	1.920.868	555.673
Prados	878.364	40.883

Nota: Las superficies se obtienen por muestreo. No constituyen por tanto la cifra oficial.

El olivar (18% de superficie), frutales (10% de superficie) y viña (9% de superficie) representan los siguientes grupos de cultivos con mayor superficie peninsular.

Si se atiende a las necesidades de nitrógeno de los cultivos, son los regadíos los que más cuentan. Hay que resaltar el caso de los cítricos (266 kg N/ha aportados en 2005) y el maíz (255 kg N/ha aportados en 2005). Otro grupo a destacar por sus requerimientos nitrogenados son las hortalizas y flores (recibieron en 2005 en España 138 kg N/ha). Además, este grupo de cultivos se concentra en zonas concretas de horticultura intensiva.

Tabla 5. Balance del nitrógeno en la agricultura española, año 2005. (Fuente: MAPA)

Cultivo o cubierta	N aportado por ha (kg N/ha)	
	Secano	Regadío
Cereales grano (CE)	68	174
Leguminosas grano (LE)	17	37
Industriales (IN)	14	148
Forrajeras (FO)	23	16
Hortalizas y flores (HO)	23	138
Frutales cítricos (CI)		266
Frutales no cítricos (FR)	13	113
Viñedo (VI)	22	82
Olivar (OL)	37	84
Prados	18	24

Cultivo o cubierta	N aportado (t de N)	
	Secano	Regadío
Cereales grano (CE)	386.797	153.926
Leguminosas grano (LE)	4.311	797
Industriales (IN)	7.963	29.839
Forrajeras (FO)	13.070	4.624
Hortalizas y flores (HO)	607	24.269
Frutales cítricos (CI)		81.673
Frutales no cítricos (FR)	10.540	28.033
Viñedo (VI)	18.097	25.992
Olivar (OL)	70.547	46.951
Prados	15.811	981

En conclusión:

- 1 Los fertilizantes minerales nitrogenados** suponen más de la mitad del coste energético de los cultivos y de ahí la importancia de hacer un uso eficiente de ellos en cualquier Programa de Ahorro y Eficiencia Energética.
- 2 Los cultivos** donde se ha de intensificar las acciones de Ahorro y Uso Eficiente de los fertilizantes minerales nitrogenados debieran ser principalmente los cultivos de regadío, por la intensidad de uso del nitrógeno. Este es el caso del *maíz*, *la fruticultura* y *la horticultura intensiva*. Por otro lado, no se han de olvidar los *cereales* y *olivar*, debido a su extensión, aunque las cantidades aportadas por hectárea no sean elevadas.



Fertilización de plantas hortícolas. Ensayos en brócoli.

2 Medidas de ahorro de nitrógeno mineral

Se puede considerar al nitrógeno como el principal factor de producción de los cultivos tras el agua. Actualmente es necesario compaginar las necesidades de una agricultura productiva, competitiva y de calidad con la protección y mejora de la calidad de los suelos, el agua y la atmósfera.

La fertilización nitrogenada tiene como objetivo satisfacer las necesidades nutricionales del cultivo mediante los aportes orgánicos o minerales necesarios para complementar lo que el mismo suelo es capaz de suministrar gracias a su fertilidad.

Por tanto, como punto de partida se han de conocer las necesidades de nitrógeno del cultivo para el potencial productivo de la parcela.

Una vez conocidas estas necesidades del cultivo, antes de aportar el abonado mineral, se deben considerar *otras fuentes de nitrógeno aprovechables por el cultivo:*

- *Contribución del suelo gracias a su materia orgánica y su fertilidad.*
- *La contribución de los abonos orgánicos.*
- *El papel de las leguminosas como fuente de aportes nitrogenados a los cultivos.*
- *La contribución de los restos de cosecha.*
- *La utilización de los abonos verdes.*

Existen otras fuentes de nitrógeno aprovechables por el cultivo en zonas puntuales. Una de ellas es el aporte de nitrógeno por el agua de riego, el cual debe ser considerado especialmente en las zonas de alta concentración de nitratos en aguas de uso agrícola.



Almacenamiento de abono mineral.

Finalmente, y dado su elevado coste energético y económico, se utilizarán los abonos minerales para completar las necesidades del cultivo no satisfechas con estas otras fuentes de nitrógeno.

A continuación se muestran las *Medidas de Ahorro* de fertilizantes minerales que pueden aplicarse en las explotaciones agrarias.

2.1 Contribución del suelo gracias a su materia orgánica y su fertilidad

Como se ha comentado anteriormente el suelo no es un medio inerte, sino que dispone de importantes cantidades de nitrógeno, principalmente en la materia orgánica. Incluso en suelos cuyo contenido en materia orgánica no es elevado, como sucede en la mayor parte de nuestros secanos semiáridos, el nitrógeno está presente en niveles significativos.

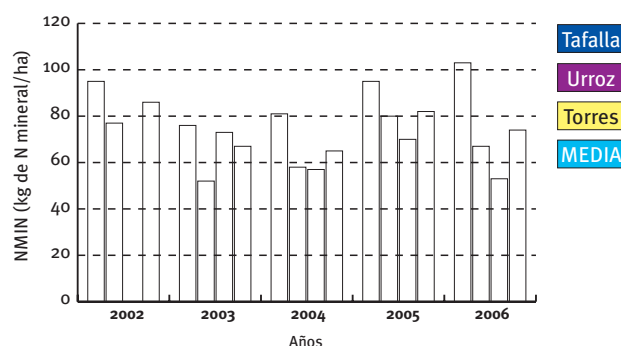
Los restos de los cultivos precedentes, especialmente en el caso de las leguminosas y los aportes de materias orgánicas externas, también contribuyen al enriquecimiento de nitrógeno en el suelo.

En el ciclo del nitrógeno de los sistemas agrícolas intervienen diversas transformaciones físico-químicas y biológicas. El nitrógeno está presente en distintas formas: nitrógeno orgánico, que constituye la mayor parte del nitrógeno de un suelo agrícola (de 2 a 4 toneladas en un horizonte de 30 cm); nitrógeno en forma mineral (nitrato y amonio), que representa unas decenas de kilogramos; y nitrógeno gaseoso.

De todas estas formas de nitrógeno, *únicamente el nitrógeno mineral es susceptible de ser aprovechado por los cultivos*. La materia orgánica no es estable, está sometida a procesos de mineralización (también de reorganización y humidificación), que posibilitan su transformación hacia sus componentes minerales, entre ellos el nitrógeno. De este modo, un suelo suministra nitrógeno de forma natural a los cultivos, en mayor o menor cantidad, dependiendo de su riqueza en materia orgánica, entre otros factores.

A continuación se presenta un ejemplo en el que puede observarse la cantidad de nitrógeno suministrado por el suelo, medida a través del análisis de suelo en los horizontes 0-30 y 30-60 cm a la salida del invierno, en parcelas de cultivo de cereales de secano. Puede comprobarse cómo existe una variación relativamente significativa entre zonas y entre campañas, con oscilaciones que van entre 50 y 100 kg de nitrógeno NMIN (nitrato más amoniacal) disponible en el suelo.

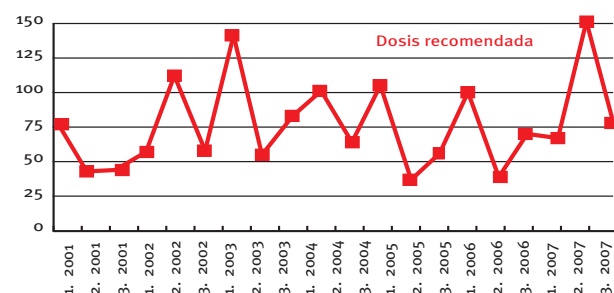
Gráfico 5. Evolución del nitrógeno mineral del suelo (NMIN) en distintas cooperativas de Navarra (50 parcelas de secano). (Fuente: ITGA)



En otro ejemplo puede verse la variabilidad del NMIN que se produce en una misma parcela a lo largo del tiempo, en relación a la climatología y a los ciclos de los cultivos que se van sucediendo sobre ella con el paso de los años. El ejemplo corresponde a un ensayo de largo plazo de fertilización nitrogenada en secanos frescos cerealistas.

Gráfico 6. Evolución del nitrógeno mineral en el suelo 2001-2007: 1 Presiembra (octubre); 2 Precobertera (enero); 3 Cosecha (junio).

(Fuente: ITGA)



Claro que este *análisis NMIN de suelo* es como una foto fija del nitrógeno disponible en el suelo en el momento de hacer el muestreo.

Además es necesario conocer la capacidad que el suelo tiene para *mineralizar nitrógeno* a lo largo del ciclo del cultivo y esto es una función de la fertilidad de ese suelo.

En el siguiente ejemplo se muestra la cantidad de nitrógeno mineralizada por un suelo a lo largo del ciclo del cultivo de maíz en regadío, medida experimentalmente sobre ensayos de campo.

Tabla 6. Nitrógeno mineralizado en cultivo de maíz en regadío en distintas regiones españolas.

(Fuente: Quemada, 2006)

	Campaña	Mineralización (kg N/ha)
Madrid	2002	112
	2003	77
	2004	98
Zaragoza	2002	218
	2003	166
	2004	134
Lleida	2002	290
	2003	73
	2004	50
Navarra	2002	77
	2003	53
	2004	87

En conclusión, es importante conocer la fertilidad del suelo y la cantidad de nitrógeno que es capaz de suministrar por sí mismo. El análisis NMIN (formas nítricas y amoniacales) ofrece una medida práctica a utilizar en el necesario plan de fertilización de las parcelas de cultivo.

- Para conocer el nitrógeno aportado por el suelo se puede recurrir a la realización de análisis NMIN (nitrógeno nítrico y amoniacal) del suelo antes de aportar los abonos. La experiencia en su utilización permite modular los aportes minerales a realizar.



Muestreo del perfil del suelo para análisis de NMIN.

- Conocer el nitrógeno que va a mineralizarse durante el ciclo de cultivo es más difícil y por ello no es una medida que se utilice para la toma de decisiones.

2.2 La contribución de los abonos orgánicos

Residuos orgánicos como compost, purines, estiércoles o lodos, entre otros, suponen el aporte al suelo de importantes cantidades de nutrientes.

La utilización de estos residuos en suelos agrícolas siempre estará supeditada a que cumplan la normativa vigente y a que su aplicación se realice con un criterio agronómico.

España es el segundo país de la Unión Europea en producción porcina, tras Alemania, con un censo de 24,1 millones de cabezas en el año 2001, que representa el 20% de la producción total de la Unión Europea (EUROSTAR, 2003). En Cataluña y Aragón, se concentra el 42% del censo total de España (MAPA, 2003). Anualmente se generan más de 50 millones de m³ de purines (con un contenido medio de 5 kgN/t, suponen 250 millones de kg de nitrógeno) que originan grandes volúmenes excedentarios en las zonas de mayor concentración de explotaciones.

Con respecto a la producción de estiércoles sólidos, en España es equiparable a la de estiércoles líquidos.

En Cataluña los estiércoles sólidos representan, en conjunto, más del 55% del volumen de purines producido.

Las distintas alternativas de gestión enfocadas al tratamiento de purines, presentan notables inconvenientes todavía en fase de resolución, fundamentalmente por su viabilidad económica y/o medioambiental. Sin embargo, la aplicación de estos residuos al suelo constituye uno de los mejores ejemplos de reciclaje de nutrientes, en el sistema suelo-cadena trófica.

Los residuos orgánicos de origen ganadero, bien utilizados, pueden sustituir o reducir el uso de importantes cantidades de abonos minerales. De esta forma, se puede ayudar a resolver el problema del ganadero, supone un ahorro para el agricultor y se obtiene una mejor gestión medioambiental.

Existen una serie de dificultades a tener en cuenta:

- la variabilidad en la composición de los residuos orgánicos
- las dificultades en la dosificación y reparto en campo
- la eficiencia de los nutrientes aportados para los cultivos

Normalmente, las dosis de aplicación de abonos orgánicos se establecen en función de su contenido en nitrógeno (la Directiva Nitratos de la CE establece un límite máximo, en zonas vulnerables, de 210 ó 170 kg de N por hectárea y año procedente de residuos orgánicos).

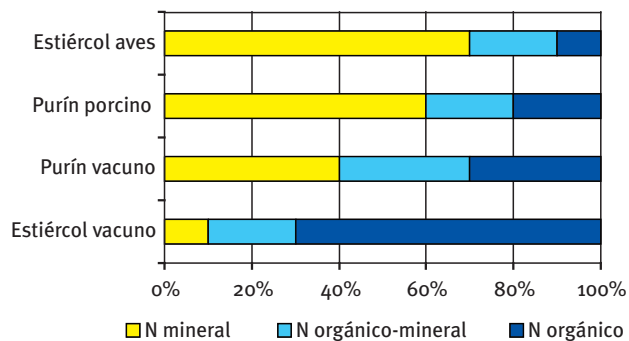
Para prever el nitrógeno disponible por el cultivo tras un aporte de residuos orgánicos, resulta de gran utilidad conocer en que forma se encuentra el nitrógeno en el residuo y su *disponibilidad para el cultivo*.

Entre los productos orgánicos utilizables en agricultura destacan por su cantidad y disponibilidad los procedentes de la ganadería:

- Existe un primer grupo de productos ricos en materia orgánica comportada, como el estiércol de rumiantes, compost, etc. Contribuyen a mantener y aumentar la materia orgánica del suelo, mientras que la disponibilidad de los nutrientes aportados para el cultivo, especialmente el nitrógeno, no es inmediata, sino gradual en los años siguientes a la aportación.
- Un segundo grupo formado por los productos pobres en materia orgánica, como es el caso del estiércol y el purín de aves, purín de porcino, etc. Los nutrientes que aportan se encuentran mayoritariamente en forma mineral, es decir, inmediatamente disponibles para los cultivos.
- Otros productos, como el purín de vacuno, se encontrarían en una situación intermedia.

En el siguiente gráfico, elaborado por Ziegler (1987), pueden observarse las distintas formas de nitrógeno en diferentes residuos. Cabe esperar que *la forma mineral y orgánico mineral estén disponibles el primer año tras la aplicación, mientras que la disponibilidad de las formas orgánicas será progresiva en varias campañas.*

Gráfico 7. Formas de nitrógeno en residuos de origen animal. (Fuente: Ziegler, 1987)



La valoración real de la Eficiencia del Nitrógeno Aportado por cada residuo para el primer, segundo y tercer año tras el aporte se realiza mediante ensayos.



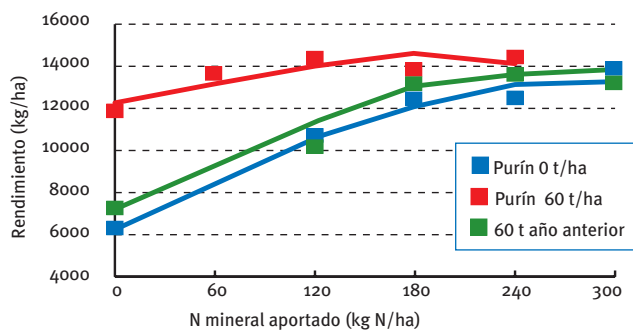
Reparto de abonos orgánicos: purín de porcino.

A continuación se presentan como ejemplo los resultados obtenidos en un ensayo realizado en Navarra para un purín de porcino, cuyo nitrógeno se encuentra principalmente en forma amoniacal, utilizado como abonado de fondo para un cultivo de maíz en riego por gravedad o inundación.

La eficiencia obtenida del nitrógeno procedente del purín respecto al abonado mineral resultó un 60% el primer año, mientras que en el segundo fue nula. Los resultados de los 4 años de duración del ensayo fueron similares.

Con 60 toneladas de purín aplicadas por ha, se aportaron 130 kg de fósforo (P_2O_5) y 227 kg de potasio (K_2O). La eficiencia del fósforo y potasio puede considerarse idéntica a los abonos minerales. Es decir, con esta aplicación de purín se puede suprimir el abonado con fósforo y potasio y reducir considerablemente la aportación de nitrógeno (Irañeta y col., 2002).

Gráfico 8. Efecto, anual y residual, del aporte de purín sobre la producción de maíz. (Fuente: ITGA)



Los resultados de otros ensayos de tres campañas de producción de maíz con aportes de distintas dosis de purín se presentan en la tabla 7. Estos ensayos se localizan en Lérida, área de gran problemática de producción de purines de cerdo. Los resultados muestran que el aporte de purín mejora en la mayoría de las situaciones la producción de maíz. El incremento de producción que se produce varía entre un 4% y un 90% respecto a las parcelas sin aporte de purín.

Tabla 7. Producción de maíz (t/ha) en regadío con aporte de purín. (Fuente: Berenguer y col., 2006)

Producción de maíz (t/ha)	Aporte de purín (m ³ /ha)		
	0	25	50
Campaña 2002	13,5	15,4	14,0
Campaña 2003	10,0	12,0	12,7
Campaña 2004	8,4	13,2	16,0

Se han realizado ensayos similares con aportes de distintas dosis de estiércol de vacuno en Gerona, viéndose mejoras en la producción de maíz. Los estiércoles presentan mayores contenidos de nitrógeno en forma orgánica que los purines, de modo que el efecto de su aporte es más lento pero más duradero, ya que depende de la mineralización de ese nitrógeno.

Tabla 8. Producción de maíz (t/ha) en regadío con aporte de estiércol. (Fuente: Domingo y col., 2006)

Producción de maíz (t/ha)	Aporte de estiércol (t/ha)		
	0	30	60
Campaña 2002	11,9	11,6	13,3
Campaña 2003	4,5	7,0	8,0

En la mayoría de las ocasiones lo más beneficioso es realizar una aportación racional de los residuos ganaderos y complementar los requerimientos de los cultivos con aportes minerales.

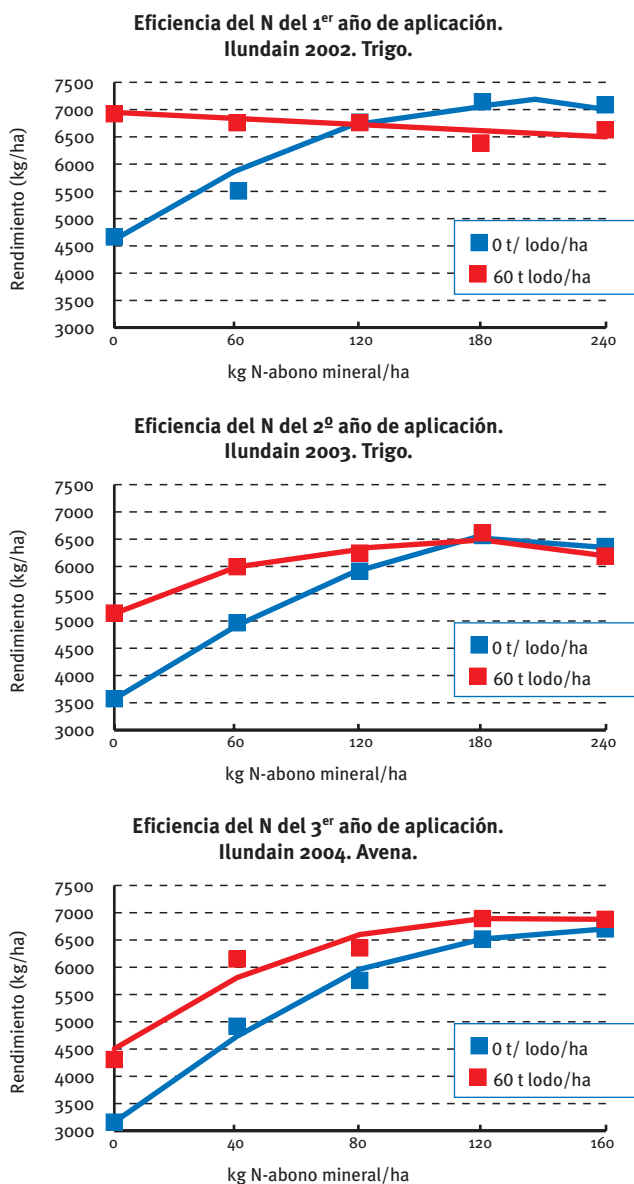
Por otro lado, los lodos de depuradora (con depuración biológica) son otro residuo orgánico de interés agrícola, con gran parte de su nitrógeno en forma orgánica que se libera lentamente en varios años tras la aplicación.

Cuando se trata de residuos orgánicos procedentes de depuradoras, vertederos, residuos de la industria agroalimentaria o similares es importante prestar atención a la *higienización* del producto y a su contenido en *metales pesados*.

Se muestran a continuación las curvas de respuesta productiva al nitrógeno mineral, obtenidas durante los tres

años posteriores a la aplicación de un lodo de depuradora para mostrar cómo, en este caso, sí existe un significativo efecto residual que se muestra incluso tres años después de haber realizado los aportes. Se trata de una zona húmeda con cultivo de cereal.

Gráfico 9. Ensayos de largo plazo de utilización de lodos de la depuradora de Pamplona. 1^{er}, 2^o y 3^{er} año, respectivamente. (Fuente: ITGA)



2.3 El papel de las leguminosas como fuente de aportes nitrogenados a los cultivos

El nitrógeno es el elemento, en forma no elemental, más abundante en nuestro planeta. Se encuentra

principalmente en la atmósfera, donde constituye el 78,1% en volumen. Su abundancia en la corteza terrestre es sólo del 0,002% en masa. Los únicos minerales importantes que contienen nitrógeno son el KNO₃ (nitrato potásico) y el NaNO₃ (nitrato de sodio o nitrato de Chile), localizados en unas pocas regiones desérticas.

La FBN (fijación biológica del nitrógeno) es un proceso exclusivo de algunos procariotes para usar el N₂ del aire y reducirlo a amoníaco con la enzima nitrogenasa, (Kimball, 1980) para la síntesis de proteínas. De acuerdo con el mecanismo bioquímico, para obtener la energía que les permita fijar el N₂ existen bacterias fotoautotróficas, quimiolitotróficas y heterotróficas de vida libre en el suelo, asociados o en simbiosis en las hojas y/o raíces de plantas. El ejemplo más conocido e investigado es la relación entre las leguminosas y Rhizobium. Aunque los dos simbiotes pueden sobrevivir independientemente, solo cuando la bacteria coexiste íntimamente con la leguminosa se da la fijación del N₂ (Sandowsky y col., 1995).

El establecimiento de la simbiosis para atrapar el N₂ entre Rhizobium y la leguminosa es un proceso complejo, donde la formación de nódulos y la captación del N₂ se da en etapas sucesivas (Aparicio y col., 2000). Rhizobium induce en la leguminosa el desarrollo de nódulos en su raíz, los dos organismos establecen una cooperación metabólica, las bacterias reducen el N₂ a amonio (NH₄), el cual exportan al tejido vegetal para su asimilación en proteínas y otros compuestos nitrogenados complejos, las hojas reducen el Co₂ en azúcares durante la fotosíntesis y lo transportan a la raíz donde los bacteroides de Rhizobium lo usan como fuente de energía para proveer ATP al proceso de inmovilizar N₂.

Se considera que la fijación biológica del nitrógeno

(FBN) es una de las alternativas más viables para incorporar nitrógeno en el ecosistema (Kimball, 1980). Se ha estimado que 175 millones de toneladas/año se fijan biológicamente, del cual el 70% va al suelo y de éste, el 50% proviene de asociaciones nodulares como las causadas por *Rhizobium* (Burity y col., 1989).

Tabla 9. Valores promedio de nitrógeno fijado biológicamente por leguminosas en el mundo.

***Valores estimados promedio de numerosos experimentos.** (Fuente: Alexander, 1980 y Carlsson y Huss-Dannel, 2003)

Nombre científico	Nombre común	Fijación de N (kg N/ha)*
<i>Arachys hipogea</i>	Cacahuete	109
<i>Cajanus cajan</i>	Frijol gandul	224
<i>Cicer arietinum</i>	Garbanzo	104
<i>Cyamopsis tetragonoloba</i>	Guar	130
<i>Glycine max</i>	Soja	88
<i>Lens culinaris</i>	Lenteja	83
<i>Lupinus angustifolius</i>	Altramuz	160
<i>Medicago sativa</i>	Alfalfa	350
<i>Phaseolus vulgaris</i>	Alubia	49
<i>Pisum sativum</i>	Guisante	75
<i>Tifolium pratense</i>	Trébol rojo	373
<i>Vicia faba</i>	Haba	114
<i>Vigna unguiculata</i>	Caupí	198



Cultivo de leguminosas: guisante.

A este respecto, el incluir las leguminosas en una *rotación de cultivos*, ha mantenido la producción de sistemas agrarios mediterráneos desde la antigüedad,

produciendo nitrógeno fijado de forma biológica, y ayudando a combatir enfermedades, plagas y malas hierbas, al romper la continuidad de los monocultivos cerealistas. Dentro de dicha zona mediterránea, los aportes de nitrógeno a través de la fijación en los nódulos de las leguminosas se consideran fundamentales para una producción sostenible, tanto económica como ambientalmente (Howieson y col., 2000).

En ensayos de larga duración se pueden encontrar multitud de resultados que permiten mostrar cómo la introducción de leguminosas permite reducir las dosis de nitrógeno mineral a aportar a los cultivos cerealistas, aumentando al mismo tiempo su productividad. Por ejemplo, 12 años en secanos frescos en Navarra, ITGA (tabla 10 y gráfico 10):

- El cultivo de leguminosas (guisante) y la práctica del barbecho (por otros motivos) mejora las reservas disponibles de nitrógeno en el suelo o la eficiencia en su utilización por el cultivo siguiente, frente a las situaciones de monocultivo de cereales. *Esta mejora puede cifrarse en unas 30-40 kg/ha de nitrógeno útil para el siguiente cultivo. Así, el ahorro de nitrógeno supondría del orden de 1.500 a 2.000 MJ/ha de ahorro energético.*
- Un cereal (trigo) cuando se siembra detrás de una leguminosa o un barbecho necesita significativamente menos nitrógeno mineral aportado que cuando se siembra detrás de otro cereal. *Se puede hablar de un ahorro de 5 kg de N por cada tonelada de grano producido o el equivalente a 250 MJ/t de grano producido.*

Gráfico 10. Curvas de respuesta del trigo al aporte de N con distintos precedentes. Media de tres campañas. (Fuente: ITGA)

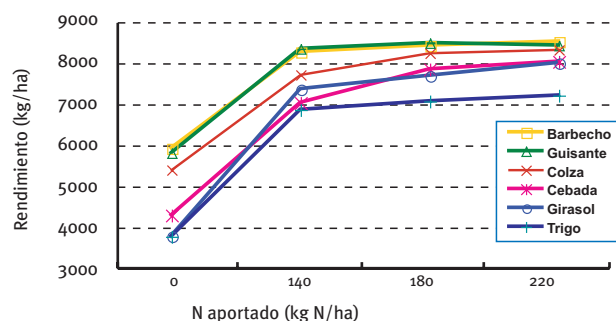


Tabla 10. Parámetros de producción de trigo cultivado sobre distintos precedentes. (Fuente: ITGA)

	PRECEDENTES					
	Barbecho	Colza	Girasol	Guisante	Cebada	Trigo
Rendimiento de testigo sin N (t/ha)	5,7	3,9	5,6	4,1	3,9	3,9
Dosis óptima económica (kg/ha)	162	201	198	151	185	174
Rendimiento óptimo económico (t/ha)	7,8	7,7	7,4	7,8	7,2	6,7
kg de N/t de grano	21	26	27	19	25	26

Resultados en la misma línea se obtienen de un ensayo de largo plazo de rotaciones localizado en Córdoba y realizado por López-Bellido y col., 2000 (tabla 11). En este ensayo se muestra la influencia de la rotación de cultivos comparando rotaciones simples de trigo-habas, trigo-garbanzos, trigo-girasol, trigo-barbecho y monocultivo de trigo. Se estudia la producción de trigo con distintas dosis de nitrógeno mineral según su precedente. Los resultados resaltan la eficiencia de las rotaciones estudiadas. El monocultivo de trigo presenta rendimientos inferiores a los de rotaciones, y de éstas la mejor es la rotación con habas, con la que se obtiene un alto rendimiento con una mayor eficiencia de nitrógeno.

Tabla 11. Producción de trigo tras distintos precedentes y con distintas dosis de nitrógeno. Datos de cuatro años de ensayo de largo plazo de Córdoba. (Fuente: López-Bellido y col., 2000)

	PRECEDENTES				
	Barbecho	Haba	Garbanzo	Girasol	Trigo
0 kg N/ha	2,3	2,4	2,0	1,9	1,5
50 kg N/ha	2,3	2,5	2,2	2,3	1,8
100 kg N/ha	2,5	2,9	2,5	2,5	2,0
150 kg N/ha	2,6	2,7	2,5	2,7	2,0

En conclusión, la introducción de leguminosas o de los barbechos² en los sistemas de producción de monocultivo cerealistas permite ahorros de nitrógeno del orden de 5 kg por tonelada de cosecha de grano de cereal, lo que puede traducirse a 250 MJ de ahorro energético por tonelada de grano producido.

Las asociaciones entre gramíneas y leguminosas

Se realizan para aprovechar la fijación biológica del nitrógeno por parte de la leguminosa. Existen estudios que han revelado que con esta técnica se incrementa la producción, se produce un mayor control de malas hierbas, se mejora la calidad del producto y se obtiene un importante ahorro de fertilizante nitrogenado.

Cubiertas vegetales con leguminosas en olivo

En los cultivos leñosos, como es el caso del olivo, donde las rotaciones se producen en largos periodos de tiempo y las asociaciones son escasas, la conservación de cubiertas verdes permite una elevada diversidad biológica. Esta técnica, de la llamada Agricultura de



Gramínea con cultivo de leguminosa asociado (izquierda) y sin cultivo asociado (derecha).

⁽²⁾ En los barbechos el beneficio no procede de la fijación de nitrógeno atmosférico como en las leguminosas, sino de la dinámica de mineralización de la materia orgánica del suelo a lo largo de todo un año sin cultivo.

Conservación, propicia efectos positivos como son el reciclado de elementos nutritivos, la mejora de la estructura del suelo, una elevada actividad microbiológica y una mayor cantidad de materia orgánica, así como una reducción de la erosión.

Dentro de los distintos tipos de cubiertas vegetales destaca el cultivo con cubierta viva de leguminosas. La leguminosa se maneja igual que los cereales, pero mejora las condiciones del olivar ya que puede fijar gran cantidad de nitrógeno, algo altamente favorable para este tipo de cultivo. También se adapta mejor a la siega mecánica y reduce el riesgo de incendio.

En Andalucía se está produciendo un gran cambio en este sentido ya que existe un grave problema de erosión de los suelos (pendientes elevadas, exposición a altos niveles de insolación, etc.). Por ello se está fomentando el uso de cubiertas vegetales con leguminosas que por un lado sirvan de sujeción del suelo ante posibles erosiones y por otro supongan una incorporación de nitrógeno al suelo, de modo que esta estrategia puede suponer un gran avance para el sector. Un caso particular entre las cubiertas vegetales de leguminosas son las de altramuz, especie adaptada a suelos ácidos (frecuentes en algunas zonas de la provincia de Huelva) y cuyos restos vegetales son más persistentes que los de otras leguminosas.

Las cubiertas de leguminosas son potencialmente una opción muy interesante debido a su capacidad de fijación de nitrógeno atmosférico y al ahorro consiguiente de abono nitrogenado en el olivo. (Ortega Nieto, 1964).

2.4 La contribución de los restos de cosecha

Algunos cultivos, tras la cosecha, dejan considerables cantidades de restos sobre el terreno que si se incorporan al suelo restituyen parte del nitrógeno que el

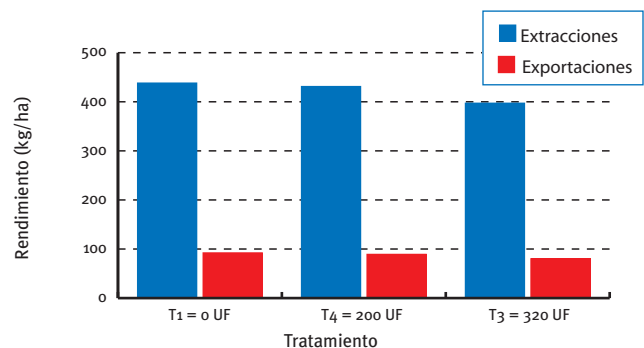


Cubierta vegetal en olivar.

cultivo había absorbido y que deben ser tenidos en cuenta. Por ejemplo, tras un cultivo de brócoli, con el fruto únicamente se exporta de la parcela en torno a un 20-25% del nitrógeno absorbido y el resto se queda en la parcela, de forma que se incorpora al terreno y puede ser aprovechado por el cultivo siguiente.

Gráfico 11. Extracciones y exportaciones de N por el brócoli (con distintas dosis de N).

(Fuente: ITGA, Ribaforada, 2005)



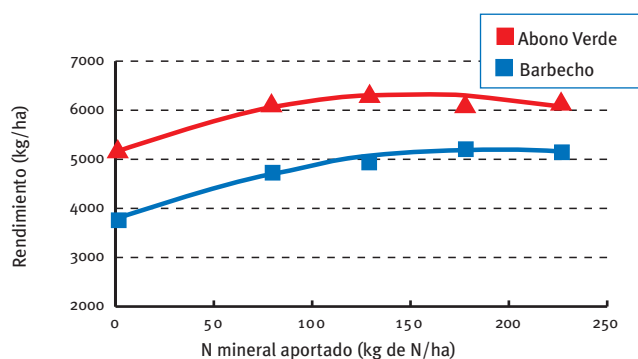
Existe de hecho un amplio debate en el mundo científico sobre la cantidad de biomasa residual que puede exportarse de un agrosistema, es decir, cuánta paja puede sacarse fuera para sus distintos usos y cuánta sería conveniente dejar en el suelo para su incorporación. *En general existe coincidencia en que al menos entre un 25% y un 50% de los residuos recolectables deberán quedar siempre en el suelo para mantener la fertilidad de éste.*

2.5 La utilización de los abonos verdes

En los sistemas de producción en los que no es posible utilizar materias orgánicas externas como purines, estiércoles o lodos, existe otra posibilidad de incorporar materia orgánica al suelo y esta es la *realización de cultivos para enterrar completamente su biomasa, los llamados abonos verdes*.

Estos cultivos tienen además una función significativa de lucha contra la erosión y su función medioambiental es muy importante. Actualmente, y desde el punto de vista económico, son difícilmente aceptados puesto que sus beneficios sobre la fertilidad se notan a medio plazo, mientras que sus costes son inmediatos.

Gráfico 12. Respuesta del rendimiento del trigo blando al aporte de N con precedente barbecho y abono verde. (Fuente: ITGA)



En muchas ocasiones los abonos verdes se utilizan como intercultivos, que ocupan un espacio temporal entre dos cultivos. Espacio que de otro modo hubiera quedado en barbecho, y por tanto, expuesto a la erosión y la lixiviación de nutrientes (lavado por el agua de lluvia), que de ese modo se pierden y además contaminan.

3 Uso eficiente de los fertilizantes

En general, en los años 60 y 70, ante la demanda mundial de alimentos, fue espectacular el aumento del uso de los fertilizantes nitrogenados, tanto en zonas en las que la agricultura estaba desarrollada como en zonas agrícolas en desarrollo. Este incremento en el uso de fertilizantes en estas décadas se relaciona con el bajo coste de los fertilizantes en comparación con los beneficios económicos obtenidos. Sólo las restricciones ambientales, debido a la contaminación de las aguas con nitratos, vendrán en la última década del siglo XX a limitar el uso de los abonos nitrogenados.

Ya en el siglo XXI son el cambio climático y las políticas de ahorro y eficiencia energética que de él se derivan, las que motivan un uso eficiente de este recurso, por otra parte imprescindible en la agricultura moderna.

El uso racional y eficiente de los fertilizantes nitrogenados viene determinado por los tres aspectos fundamentales que se desarrollan a continuación: dosis total, momentos de su aplicación y selección de los tipos.

3.1 Dosis de nitrógeno total a aportar a los cultivos

Para calcular las necesidades de nitrógeno por los cultivos se considera el potencial productivo de la parcela en base a su historial y el coeficiente de extracción del cultivo, que puede ser estudiado en cada zona climática o bien utilizar referencias existentes. En esta publicación se presenta como Anexo las tablas procedentes del Tratado de Fitotecnia General de Pedro Urbano, tomada también como referencia en el Balance del Nitrógeno de la Agricultura Española realizado por el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.

Por otra parte, existe un gran número de trabajos de campo realizados en los distintos territorios y cultivos que permiten llegar a conocer las dosis de nitrógeno necesarias para los cultivos en las situaciones en las que se han evaluado, resultando de gran utilidad práctica para los agricultores. A modo de ejemplo se presentan algunos resultados.

Tabla 12. Ensayos de fertilización nitrogenada ITGA. Análisis conjunto de 53 ensayos de Trigo Blando en secanos frescos, con precedente de leguminosa o cereal

	Tipo de suelo			
	Margas		Terrazas	
	Cultivo anterior Leguminosa	Cereal	Cultivo anterior Leguminosa	Cereal
Nº de ensayos	15	23	5	10
Dosis óptima técnica (KgN/ha)	169	200	149	188
Dosis óptima económica (KgN/ha)	149	179	131	171
Rendimiento esperado (Kg/ha)	6.092	5.040	4.753	4.686
Rendimiento del testigo (Kg/ha)	4.503	2.888	3.412	2.340

Este método de evaluación de la dosis fertilizante de nitrógeno garantiza el mejor rendimiento económico del fertilizante utilizado en un periodo de varios años para un agricultor determinado, pero tiene algunas limitaciones, ya que no considera:

- las condiciones meteorológicas específicas de la campaña en cuestión
- ni la variabilidad del nitrógeno disponible en el suelo para el cultivo

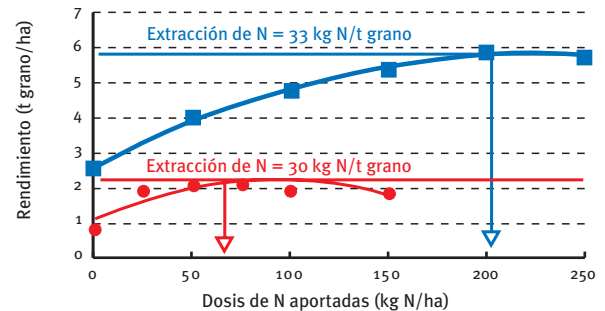
Distintos Centros de Investigación Públicos y Empresas distribuidoras de fertilizantes ofrecen información contrastada sobre las necesidades de nitrógeno de los cultivos en el entorno regional o autonómico, y recomendaciones en el uso eficiente de los fertilizantes nitrogenados.

Por ejemplo, en un secano húmedo, el parámetro de extracciones de nitrógeno para un cultivo de trigo se estima entre 30 y 35 kg de N por tonelada de grano. Si en una zona la producción media de

trigo es de 6 toneladas por hectárea, la dosis de nitrógeno según extracciones debería ser de 180 a 210 kg de N por hectárea. Si en otra zona seca dicha producción es de 2 toneladas por hectárea, la dosis de nitrógeno según extracciones será de 60 a 70 kg de N por hectárea.

Gráfico 13. Cálculo de las extracciones de nitrógeno en dos áreas climáticas distintas.

(Fuente: Elaboración propia)



El gráfico 13 ilustra cómo se puede calcular el dato de las necesidades de nitrógeno para un cultivo y para unas condiciones en particular. Se estudia la respuesta del cultivo a distintas dosis de nitrógeno y el dato de la dosis (kg N/ha) que da la máxima producción obtenida en el estudio se divide entre la producción óptima (t/ha).

3.2 Momentos de aporte del nitrógeno

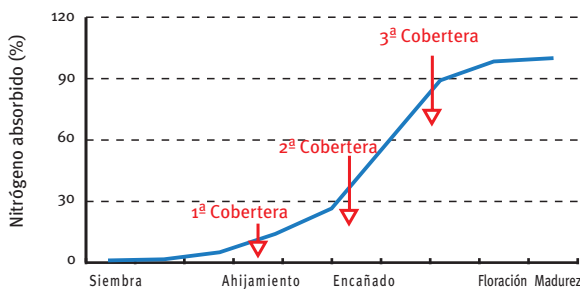
El nitrógeno, al tratarse de un elemento susceptible de sufrir importantes pérdidas en suelo por lixiviación, volatilización o desnitrificación, mejora su eficiencia en función de cómo se ajuste el periodo de aporte al de necesidades del cultivo. De modo que un correcto reparto mejora su eficiencia y en consecuencia se reduce la dosis necesaria.

Generalmente, la mayor absorción de nitrógeno coincide con los periodos de rápido crecimiento de los cultivos.

En cultivo de cereal, por ejemplo, las necesidades son prácticamente nulas hasta el inicio del ahijamiento, y

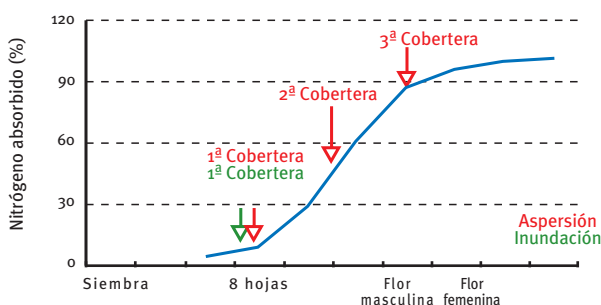
son verdaderamente altas en la fase de encañado. En la práctica esto implica que en zonas secas, como son la inmensa mayoría de nuestras situaciones, será suficiente con un único aporte. En las zonas húmedas y regadíos se puede fraccionar la aplicación en uno, dos, e incluso tres aportes de cobertera, siempre que haya agua para posibilitar su utilización por el cultivo.

Gráfico 14. Absorción de nitrógeno por cereal de invierno. (Fuente: ARVALIS)



En el caso del maíz de regadío, la absorción se produce principalmente en el periodo de cultivo entre ocho hojas y floración femenina. Se trata por tanto de un cultivo de altas necesidades en un periodo muy breve. Dependiendo del tipo de riego, la aportación principal se realizará en un único aporte en riego por gravedad o inundación, mientras que la aspersión permite fraccionar este aporte en dos o tres veces y aplicarlo en fertirrigación.

Gráfico 15. Absorción de nitrógeno por maíz en regadío. (Fuente: ARVALIS)



Es fundamental tener en cuenta la correcta dosificación del agua de riego para evitar en lo posible las pérdidas de nitrógeno por lixiviación.

3.3 Tipos de nitrógeno

Actualmente, la investigación sobre fertilizantes nitrogenados inorgánicos va encaminada a desarrollar productos que aumenten la eficiencia de los mismos (EFMA).

Un aumento de la eficiencia de un fertilizante nitrogenado daría lugar a que la dosis necesaria para un desarrollo óptimo del cultivo fuera menor (Trenkel, 1997).

De modo que, aparte de los abonos nitrogenados convencionales como la urea, nitrato amónico, nitrosulfato, etc., se están desarrollando dos grupos de fertilizantes con el objetivo de incrementar la eficiencia de los mismos.

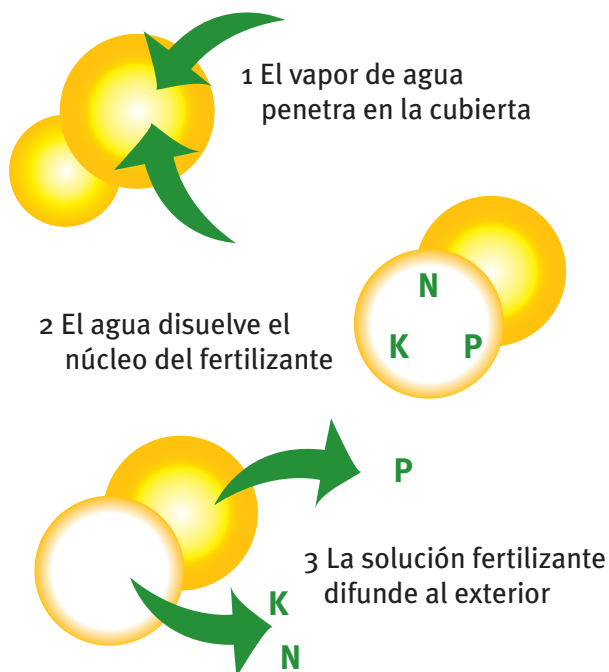
Por una parte están los *Fertilizantes Nitrogenados de Liberación Lenta* que, utilizando distintas estrategias, pretenden que las formas de nitrógeno asimilables por las plantas se liberen lentamente de forma que se minimicen las pérdidas. Las estrategias en las que



Distintos tipos de abonos nitrogenados.

suelen basarse estos fertilizantes son: o bien las formas activas están envueltas en un material que se disuelve poco a poco con la humedad del suelo (abonos recubiertos) o bien las formas activas están unidas a polímeros que disminuyen la solubilidad de las mismas (urea-formaldehído).

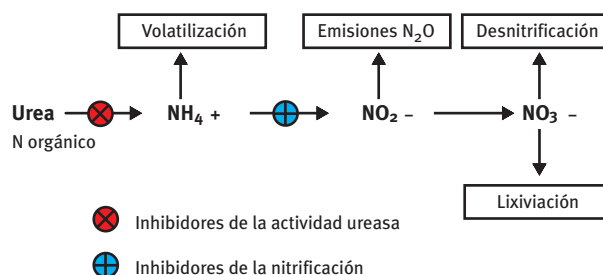
Gráfico 16. Mecanismo de actuación de los fertilizantes de liberación lenta mediante el sistema de encapsulado. (Fuente: Haifa)



Por otra parte están los *Fertilizantes Estabilizados*, que se basan en que algunas formas de nitrógeno van acompañadas de moléculas inhibidoras de procesos de transformación del nitrógeno en el suelo. Por ejemplo, una fuente de nitrógeno con amonio más una molécula inhibidora de la nitrificación haría que el proceso de nitrificación (paso de amonio a nitrato) se

ralentizara y el nitrógeno permaneciese durante más tiempo en forma de amonio que es retenido por las arcillas del suelo y no es susceptible de ser lixiviado como el nitrato. Otro ejemplo es el de la urea más un inhibidor de la ureasa (enzima que degrada la urea a amonio), la efectividad de estos fertilizantes se basa en que se ralentiza la degradación de urea a amonio y así se evitan pérdidas por volatilización.

Gráfico 17. Mecanismos de actuación de los fertilizantes estabilizados sobre el ciclo de nitrógeno. (Fuente: Elaboración propia)



Las investigaciones sobre el desarrollo de estos abonos alternativos continúan, ya que el problema no está completamente resuelto. La eficiencia de los mismos para optimizar el nitrógeno no ha sido lo suficientemente probada en todos los ámbitos y cultivos y la unidad fertilizante resulta más cara en estos abonos que en los convencionales.

4 Herramientas para una buena gestión de los fertilizantes

Los agricultores pueden utilizar distintas herramientas, algunas de ellas ya comentadas, que le facilitan la mejor utilización de los fertilizantes minerales nitrogenados en la gestión diaria de su explotación.

En el mundo científico existe una cierta oferta de *Modelizaciones* de las interacciones suelo y planta que permiten conocer con precisión las necesidades de nitrógeno de los cultivos. Su complejidad a menudo las hace poco prácticas.

Algunas *Herramientas de Ayuda a la Decisión* en el Uso del Nitrógeno van poniéndose a punto, basándose en criterios sencillos y más aplicables, como son los análisis del nitrógeno mineral disponible en el suelo o las medidas del estado nutricional de los cultivos (lectores de clorofilas).

El método de los *Balances* pretende simplificar los factores que intervienen en el ciclo del nitrógeno en el suelo y la planta, para ayudar al agricultor a tomar la mejor decisión posible.

También la *Agricultura de Precisión* ofrece la posibilidad de racionalizar el nitrógeno, bien por la vía de la precisión en el reparto o mediante la utilización de modelos complejos de decisión aplicados de modo automático.

Un aspecto fundamental es el *uso apropiado de las Abonadoras*, su calibración, su mantenimiento, etc.

Por último, la *Fertirrigación* y el uso eficiente del agua de riego permiten mejorar la eficiencia en el uso del nitrógeno.

4.1 Análisis del nitrógeno mineral existente en el suelo. Análisis NMIN

Los cultivos no sólo utilizan el nitrógeno que se aporta con los fertilizantes, sino que lógicamente son capaces de aprovechar el que ya está en el suelo. Sin embargo, la mayor parte del nitrógeno que se encuentra en el

suelo está en forma orgánica. Para que sea aprovechable debe transformarse a forma mineral. Este proceso se llama mineralización y generalmente es muy lento.

El análisis del nitrógeno mineral en el suelo (NMIN) permite conocer la cantidad de nitrógeno mineral, nítrico y amoniacal disponible para el cultivo en el momento en el que se realiza el muestreo.

Aunque este análisis de suelo puede hacerse en distintos momentos a lo largo del cultivo, el más interesante es el análisis en un momento anterior al abonado.



Muestreo de suelo para análisis de NMIN.

Este análisis NMIN aporta mucha información, pero es como una fotografía fija en un momento concreto. El nitrógeno medido puede perderse si no se utiliza rápidamente por el cultivo y si la lluvia o el riego lo arrastra, pero también puede aumentar si la materia orgánica va aportando más en su descomposición (mineralización). Por tal motivo esta medición es una ayuda pero no la solución única y definitiva.

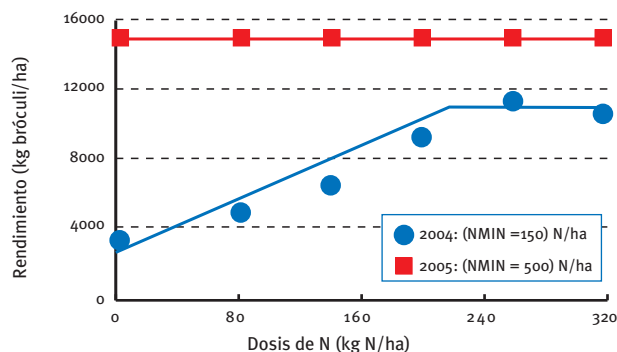
Realmente, y de un modo práctico, el análisis NMIN

permite, al menos, tener una idea clara del punto de partida del suelo. Saber si se parte de un suelo con pocas o muchas reservas de nitrógeno para el cultivo, lo que permitirá planificar la fertilización con mayor precisión, racionalidad y seguridad.

Especialmente práctico será este análisis en el caso de suelos con niveles altos de NMIN, en los que se puede conseguir un ahorro significativo de fertilizantes minerales (Irañeta y col., 2002).

A modo de ejemplo se muestra la respuesta productiva al nitrógeno obtenida en dos ensayos de brócoli durante las campañas 2004 y 2005. La ausencia de respuesta al nitrógeno corresponde a una parcela con un contenido muy alto en nitrógeno mineral del suelo, en torno a 500 kg de N por ha en los 90 primeros centímetros.

Gráfico 18. Respuesta productiva del brócoli en suelo con alto y bajo contenido de nitrógeno mineral



4.2 Medidores de clorofilas

Es conocido que el *estado nutricional nitrogenado de un cultivo* está relacionado con el contenido de clorofilas en las hojas, de modo que un cultivo deficitario en nitrógeno, en un momento dado, presenta un color verde menos intenso que un cultivo cuyas necesidades nitrogenadas están satisfechas.

Por lo tanto, dentro de las posibles herramientas a utilizar en el manejo de la fertilización nitrogenada se presentan los equipos de medición de clorofilas.

Los medidores de clorofilas manuales más usados son el N-Tester®(Yara) y el SPAD-502®(Minolta). Ambos medidores son portátiles y miden la luz transmitida por una hoja de una planta a dos longitudes de onda (650 nm y 949 nm). El registro de esta medida y el registro cuando no existe muestra son procesados por el equipo para dar un valor que es el que se debe interpretar. Este valor es diferente según se utilice un equipo u otro pero existen experimentos previos que los relacionan con una alta correlación.



N-Tester de Yara.

SPAD-502 de Minolta.

La posibilidad de detectar deficiencias de nitrógeno en zonas húmedas o regadíos mediante el uso de medidores de clorofilas y de poder corregirlas con aportes tardíos de nitrógeno se ha valorado positivamente para trigo y maíz, siendo necesario evaluarlo para otros cultivos (Lasa y col., 2005; Ortuzar-Iragorri y col., 2005; Arregui y col., 2006).

Sin embargo, es necesario tener presente que el resultado final va a depender de las precipitaciones que se registren al final del periodo de cultivo o de la posibilidad de regar en esos momentos. Con el uso de estos equipos se pueden evitar aportaciones innecesarias de nitrógeno en tercera cobertura.

El futuro de estos sistemas de medición de clorofilas parecen ser los sistemas de Teledetección instalados en tractores y de imágenes de satélite, cuyo estudio se engloba dentro de la agricultura de precisión.

4.3 Balances de nitrógeno

Se trata de una Herramienta de Ayuda a la Decisión en el uso de la fertilización nitrogenada en el que se valoran por una parte las entradas de nitrógeno al suelo y por otro las salidas, de forma que se pueda estimar la dosis necesaria a aportar con abono mineral, por diferencia.

Tabla 13. Esquema simplificado del balance del N

Entrada	=	Salidas
Nitrógeno mineral aportado por el suelo		Nitrógeno absorbido por el cultivo
Abonos o residuos orgánicos		Nitrógeno post cosecha
Aporte cultivo precedente: Leguminosa, restos de cosecha...		Pérdidas del sistema: Lixiviación, volatilización...
Abono mineral		

La dificultad de poner a punto este sistema radica en evaluar correctamente los parámetros que intervienen, muchos de ellos dependientes de condiciones climáticas y edáficas muy variables y que originan dinámicas del nitrógeno variadas (Quemada, 2006). Si se consigue esta puesta a punto, puede ser una excelente herramienta.

En datos extraídos de un trabajo sobre balances de nitrógeno desarrollado por varios grupos de distintas Comunidades Autónomas (Quemada, 2006), el nitrógeno mineralizado o aportado por el suelo durante el cultivo es muy diferente en cultivos de secano (cereal de invierno), que oscila entre 27 y 90 kg de N/ha, que en cultivos de regadío (maíz), que oscila entre 100 y 290 kg de N /ha.

Los balances de nitrógeno se realizan del siguiente modo:

- *Utilización de tablas de medias adaptadas a la región o comarca que estiman los efectos residuales del cultivo anterior y los aportes orgánicos previos, así como las pérdidas por lavado (lixiviación) y la dinámica habitual de mineralización del suelo (Arvalis Francia).*

- *Comprobación del propio balance*, a partir de análisis de suelo, para conocer el nitrógeno realmente disponible para el cultivo, previamente a la realización de los aportes. Posterior ajuste de dosis en intervenciones tardías con el uso de lectores de clorofilas (Irañeta y col., 2002; Lasa y col., 2003).

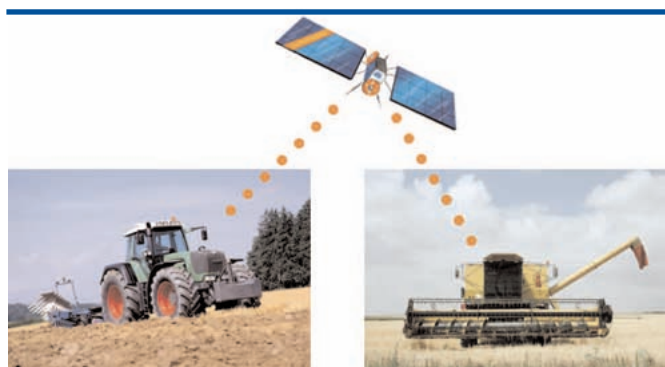
4.4 Agricultura de precisión

La agricultura de precisión ofrece la posibilidad de economizar nitrógeno, en primer lugar, por la vía de la precisión de las máquinas utilizadas, que al orientarse por un sistema GPS permiten ahorros de hasta el 5% del fertilizante, al evitar solapes innecesarios.

Cada vez se utilizan máquinas de mayor anchura de trabajo, (24, 36 m, etc.) lo que hace más difícil al agricultor orientarse en el campo. El posicionamiento en parcela mediante GPS y los Sistemas de Guiado Automático permiten circular sobre la parcela con gran precisión.

Por otra parte, la utilización de Abonadoras de Dosificación Variable, con equipos informáticos capaces de procesar mucha información rápidamente y en comunicación con el GPS del tractor, está haciendo posible el ajuste de las dosis de nitrógeno, no solo a nivel de parcela sino de píxel (unidad de 10 por 10 m).

En este sentido existen ya modelos que incorporan el uso de Mapas de Fertilización Intraparcelaria, que tienen en cuenta un gran número de capas de información: características del suelo, mapas de cosecha potencial, estado nutricional del cultivo, etc.



Nuevas tecnologías al servicio de la agricultura.

4.5 Regulación de la abonadora

La fertilización, sobre todo la nitrogenada, debe realizarse de forma homogénea y uniforme, con el fin de obtener los máximos beneficios del cultivo, evitando los accidentes al entorno.

Las nuevas tecnologías que se emplean para control de producción mediante mapas de rendimiento están desarrollando las abonadoras y los sistemas de aplicación de los fertilizantes con el fin de aportar las necesidades que realmente tienen las plantas.

Calidad de abono

Es un dato muy importante para realizar un abonado uniforme.

- El tamaño del gránulo debe ser estable y esférico. El 80% debe tener un diámetro entre 2,5 y 4 mm. Los gránulos mayores y más pesados serán proyectados más lejos.
- Los gránulos serán lo suficientemente duros para no hacerse polvo.
- Nivel de humedad muy bajo y utilización de abonos poco higroscópicos, para evitar el apelmazamiento y la formación de terrones.
- Densidad aparente constante, si es nitrogenado simple por encima de 0,85 kg/m³, y los compuestos por encima de 0,90 kg/m³.

Tipo de abonadora

Los tipos de abonadora más utilizados son las que disponen de un sistema de proyección. Consiste en lanzar el abono hacia el exterior desde una unidad central, alcanzando una anchura superior a la que tiene la máquina, debido a que las pasadas con la abonadora deben solaparse. Pueden ser pendulares o centrífugas:

- Pendulares. Tienen un tubo distribuidor, con acción pendular. El ancho de esparcimiento es de 5 a 18 metros.
- Centrífugas. Con uno o dos discos que giran accionados por la toma de fuerza. Las abonadoras de un disco cogen anchuras de hasta 20 metros y las de dos pueden llegar hasta los 36 metros con determinados tipos de abono.

Control y regulación de la abonadora

La incorrecta aplicación de fertilizantes produce gastos innecesarios, deja bandas amarillas sin abono o encamados por exceso, disminuyendo la producción por hectárea y generando riesgos para el medio ambiente.

Por consiguiente, es muy importante regular la abonadora y para ello es necesario seguir las cinco etapas siguientes:

1 *Leer el manual de la abonadora.* Es obligatorio que todas las máquinas tengan un “Manual de Instrucciones”. Para conocer bien las características, puesta a punto, manejo, mantenimiento, conservación y riesgos de la abonadora es muy importante leerlo atentamente.

2 *Caudal de abono (Q, en kg/minuto).* Antes de ir al campo, es aconsejable hacer un control con cada tipo de abono que se utilice en la explotación.

Con el tractor sin andar, con el régimen de la toma de fuerza propuesto por el constructor (normalmente 540 ó 1.000 revoluciones por minuto), la abonadora a mitad de carga y el regulador colocado, se pesará la cantidad de abono caída durante un minuto. Para obtener un dato más exacto se repetirá esta acción dos o tres veces.

3 *Control de la velocidad real del tractor (V).* Debe ser realizado en el campo, con la abonadora a mitad de carga y el régimen de la toma de fuerza marcado por el constructor. Normalmente la velocidad estará comprendida entre 5 y 12 km/h.

Se ha de marcar en el suelo una distancia de 100 metros con dos señales visibles. Se engrana una marcha adecuada del tractor. El motor se acelera, con el acelerador de mano, hasta el régimen que corresponda a 540 revoluciones por minuto de la toma de fuerza. Se mide el tiempo, en segundos, que tarda en recorrer los 100 m y se calcula la velocidad real utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{Velocidad (km/h)} = \frac{3,6 \times \text{distancia recorrida en metros}}{\text{tiempo en recorrer la distancia en segundos}}$$

4 *Anchura útil de trabajo (A).* No hay que confundir la anchura total de distribución con la anchura

efectivamente útil de trabajo. Esta se medirá siempre en metros.

Las abonadoras de proyección distribuyen menos abono en los extremos de la pasada, por tanto es necesario superponer parcialmente las pasadas, para uniformar la aplicación.

5 *Cálculo teórico de la dosis por hectárea (D, en kg/ha).* Realizados los pasos anteriores, se tienen los datos suficientes para calcular la dosis de abono por hectárea, con la siguiente fórmula:

$$D \text{ (kg/ha)} = 600 \times Q \text{ (kg/min)} / [A \text{ (m)} \times V \text{ (km/h)}]$$

- D = Peso de la dosis de abono por hectárea
- 600 = Coeficiente corrector de unidades
- Q = Cantidad de abono recogido por minuto
- A = Anchura útil de trabajo en metros
- V = Velocidad de trabajo en km/h

4.6 Manejo de riego y fertirrigación

En cultivos de regadío, el adecuado manejo del riego es un aspecto fundamental para obtener una buena eficiencia del nitrógeno aportado. La mayor parte de nitrógeno mineral del suelo se encuentra en forma nítrica (NO_3), disuelta en la solución del suelo y susceptible de ser lixiviada a capas profundas si el riego es excesivo. De esta forma, en la medida que se mejore el sistema de riego se conseguirá mayor eficiencia del fertilizante.

Díez y col. (2000) demostraron que la dosis de riego es el principal factor a considerar para reducir las pérdidas de agua por drenaje y en consecuencia las de nitrato por lixiviación. Por tanto la realización de riegos optimizados, es decir, los destinados exclusivamente a compensar las pérdidas de agua por evapotranspiración, consiguen una mayor eficiencia del nitrógeno aportado.

En este aspecto merece una mención especial la fertirrigación, ya que es una técnica cada vez más extendida en España, superando el millón de hectáreas en la actualidad. Se conoce como fertirrigación

la aplicación de fertilizantes con el agua de riego. Su mayor ventaja es la posibilidad de realizar una fertilización diaria en función de las necesidades del cultivo, consiguiéndose una mayor eficiencia del nitrógeno. Así se puede conseguir reducir las dosis utilizadas y a la vez limitar los problemas de lixiviado. Se practica principalmente en cultivos hortícolas, frutales, olivo e industriales.

La fertirrigación ofrece al mismo tiempo la oportunidad de optimizar dos de los factores de mayor incidencia en la explotación agrícola de regadío: el agua y los fertilizantes. Con esta técnica se pueden conseguir reducciones de las dosis tradicionales de abono entre un 25% y un 40%.



Inyector de fertilizantes en la red de riego.

Según el Plan Nacional de Regadíos-Horizonte 2008 (PNR), en España se dispone de la siguiente superficie regada:

Sistema de riego	Superficie regada (ha)
Gravedad	1.980.838
Aspersión	800.000
Localizado	562.854
TOTAL	3.344.637

De estos sistemas el más eficiente es el riego localizado, seguido del riego por aspersión y por último el riego de gravedad.

La fertirrigación se practica sistemáticamente en el riego localizado y también se presta a ella el sistema de riego por aspersión.

El PNR supone un incremento de la superficie destinada a regadío. Nueva superficie que se debería dotar de fertirrigación y cuidar el compatibilizar la creación o reestructuración de los sistemas regables con el uso apropiado de los recursos agua y energía a través de la gestión racional de los distintos sistemas de riego, combinando el incremento de la eficiencia de los sistemas de riego con diseños de instalaciones realizados con criterios de ahorro y eficiencia energética.

Se estima un incremento del consumo energético previsto de 759 GWh.

Programas	Δ Consumo(GWh)
Programas de consolidación y mejora de regadíos	450
Regadíos en ejecución	157
Regadíos potenciales	95
Regadíos privados	57
TOTAL	759

CONCLUSIONES PRÁCTICAS

Sobre Ahorro y uso Eficiente de los Fertilizantes Nitrogenados

- ✓ Los fertilizantes minerales nitrogenados suponen por sí solos más de la mitad del coste energético de los cultivos y de ahí la importancia de hacer un uso eficiente de ellos en cualquier programa de ahorro y eficiencia energética.
- ✓ Los cultivos donde se han de intensificar las acciones de ahorro y uso eficiente de los fertilizantes minerales nitrogenados son principalmente los de regadío, por la intensidad de uso del nitrógeno. Este es el caso del maíz, la fruticultura y la horticultura intensiva. Por otro lado, no se han de olvidar los cultivos de cereales y olivar, debido a su extensión en España, aunque las cantidades aportadas por hectárea no sean elevadas.
- ✓ Es importante conocer la fertilidad del suelo y la cantidad de nitrógeno que es capaz de suministrar por sí mismo.
- ✓ Un correcto manejo y regulación de la abonadora es fundamental para conseguir un uso eficiente del nitrógeno en la explotación.
- ✓ Para aprovechar su capacidad fijadora de nitrógeno, es conveniente introducir leguminosas en los sistemas de producción, bien sea en la rotación de cultivos, o como cultivo asociado.
- ✓ Se han de utilizar los residuos orgánicos disponibles en la zona, una vez conocida su composición e higienización, realizando un correcto reparto y dosificación.
- ✓ Se recomienda incorporar al suelo la mayor parte de los restos de las cosechas para mejorar la fertilidad del suelo. Incluso se pueden utilizar cultivos como abonos verdes en los que se entierra su biomasa completa.
- ✓ Se ha de hacer un uso eficiente del nitrógeno mineral en los cultivos, a través de ajustar las dosis necesarias, de la elección de los momentos más apropiados para aportarlas y de los tipos de nitrógeno.
- ✓ Existen diversos servicios de asesoramiento ofertados por distintos Centros de Investigación y Empresas Públicas de Transferencia de tecnología agraria que se recomienda utilizar.
- ✓ Es importante utilizar herramientas como análisis de suelo, medidores de clorofilas, balances de nitrógeno con el debido asesoramiento, para ajustar las dosis de nitrógeno mineral a aportar a los cultivos.
- ✓ La agricultura de precisión es una opción interesante para conseguir ahorros significativos de fertilizantes minerales.
- ✓ Un adecuado manejo del riego resulta fundamental para obtener una buena eficiencia del nitrógeno aportado, especialmente en suelos filtrantes. La máxima eficiencia se consigue aportando el nitrógeno por fertirrigación y con riego localizado.

Bibliografía

- APARICIO-TEJO, P. M., ARRESE-IGOR, C. y BECANA, M. “Fijación biológica de nitrógeno”. En *Fundamentos de Fisiología Vegetal*. McGraw-Hill-Interamericana. pp. 247-260. Madrid. 2000.
- ALEXANDER, M. “Introducción a la microbiología del suelo”. John Wiley Sons. New York. pp. 136-150. 1980.
- ARREGUI, L.M., LASA, B., LAFARGA, A., IRAÑETA, I., BAROJA, E. y QUEMADA, M. “Evaluation of chlorophyll meters as tools for N fertilization in winter wheat under humid Mediterranean conditions”. *European Journal of Agronomy* nº 24, pp. 140-148. 2006.
- AUDESLEY, E. “Harmonisation of environmental life cycle assessment for agriculture”. Final Report Concert Action AIR3-CT94-2028. Silsoe Research Institute, Silsoe, UK. 1997.
- BERENGUER, P., SANTIVERI, F., CANTERO, C., BOIXADERA, J. y LLOVERAS, J. “Efecto de la fertilización nitrogenada mineral y orgánica en el rendimiento de maíz. Balance de nitrógeno en los sistemas en regadío de la provincia de Lleida”. En *Balance de nitrógeno en sistemas de cultivo de cereal de invierno y de maíz en varias regiones españolas*. Monografías INIA: serie agrícola, nº 21. Editorial Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria, Ministerio de Educación y Ciencia. Madrid. pp. 73-90. 2006.
- BURITY, H.A., FARIS, M.A. y CULMAN, B.E. “Estimation of nitrogen fixation and transfer from alfalfa to associated grasses in mixed swards under field conditions”. *Plant and Soil* nº 114, pp. 249-255. 1989.
- CARLSSON, G. y HUSS-DANELLK. “Nitrogen fixation in perennial forage legumes in the field”. *Plant and Soil* nº 253, pp. 353-372. 2003.

- CIRIA, M.P. “Balance energético de los cultivos de biomasa”. Jornadas técnicas de la contribución de la agricultura a la producción y uso sostenible de la energía. 2006.
- DÍEZ, J.A., CABALLERO, R., ROMÁN, R., TARQUIS, A., CARTAGENA, M.C. y VALLEJO, A. “Integrated fertilizar and irrigation management to reduce nitrate leaching in Central Spain”. Journal of Environmental Quality nº 29, pp. 1539-1547. 2000.
- DOMINGO, F., SERRA, J. y TEIXIDOR, N. “Fertilización con productos orgánicos de origen ganadero en sistemas de cultivo de maíz en regadío en Girona (Cataluña): producción y balance de nitrógeno”. En *Balance de nitrógeno en sistemas de cultivo de cereal de invierno y de maíz en varias regiones españolas*. Monografías INIA: serie agrícola, nº 21. Editorial Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria, Ministerio de Educación y Ciencia. Madrid. pp. 91-106. 2006.
- EFMA (European Fertilizer Manufacturers Association). Understanding nitrogen and its use in agriculture. <http://www.efma.org>
- EUROSTAR. Disponible en internet: <http://europa.eu.int/comm/eurostar>. 2003.
- FAO. “Manual técnico de la fijación del nitrógeno”. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma. pp. 10-35. 1995.
- HOWIESON, J.G., O’HARA, G.W. y CARR, S.J. “Changing roles for legumes in Mediterranean agriculture: developments from an Australian perspective”. Field Crops Research nº 65, pp. 107-122. 2000.
- IRAÑETA, I., ARMESTO, A.P., SEGURA, A., LAFARGA, A., ARREGUI, L.M., BAROJA, E. y QUEMADA, M. “Herramientas de ayuda a la decisión para el manejo correcto de los fertilizantes nitrogenados en cereales de invierno”. Navarra Agraria nº 133, pp. 6-16. 2002.
- IRAÑETA, I., SANTOS, A. y ABAIGAR, A. “Purín de porcino, ¿fertilizante o contaminante?”. Navarra Agraria nº 132, pp. 9-24. 2002.
- IRAÑETA, I., ARMESTO, A.P., SEGURA, A. y LAFARGA, A. “Herramientas de ayuda a la decisión para el manejo correcto de los fertilizantes nitrogenados en cereales de invierno”. Navarra Agraria nº 133, pp. 6-16. 2002.
- KIMBALL, J.W. “Biología”. Adison Wesley Iberoamericana, pp. 432-450. 1980.
- LASA, B., IRAÑETA, I., ARMESTO, A.P., SEGURA, A., LAFARGA, A., ARREGUI, L.M., MERINA, M., BAROJA, E. y QUEMADA, M. “Herramientas de ayuda a la decisión para el manejo correcto de los fertilizantes nitrogenados en maíz”. Navarra Agraria nº 138, pp. 10-18. 2003.
- LASA, B., IRAÑETA, J., SEGURA, A., LAFARGA, A., ARREGUI, L.M., BAROJA, E., MAEZTU, I. y QUEMADA, M. “Optimización de la fertilización nitrogenada mediante el uso de medidores de clorofilas”. Navarra Agraria nº 150, pp. 32- 35. 2005.
- LÓPEZ-BELLIDO, L., LÓPEZ-BELLIDO, R.J., CASTILLO, J.E. y LÓPEZ-BELLIDO, F.J. “Effects of tillage, crop rotation, and nitrogen fertilization on wheat under rainfed Mediterranean conditions”. Agronomy Journal nº 92, pp. 1054-1063. 2000.

- McLAUGHLIN, N.B., HIBA, A., WALL, G.J. y KING, D.J. “*Comparison of energy inputs for inorganic fertilizer and manure based corn production*”. Canadian Agricultural Engineering n^o 42, pp. 211-214. 2000.
- NAREDO, J.M. y CAMPOS, P. “*Los balances energéticos de la agricultura española*”. En *Agricultura y Sociedad* n^o 15, pp. 163-255. 1980.
- ORTUZAR-IRAGORRI, M.A., ALONSO, A., CASTELLÓN, A., BESGA, G., ESTAVILLO, J.M. y AIZPURUA, A. “*N-Tester Use in Soft Winter Wheat: Evaluation of Nitrogen Status and Grain Yield Prediction*”. *Agro-nomy Journal* n^o 97, pp. 1380-1389. 2005.
- URBANO, P. “*Tratado de Fitotecnia General*”.
- QUEMADA, M. “*Balance de nitrógeno en sistemas de cultivo de cereal de invierno y de maíz en varias regiones españolas*”. Monografías INIA: serie agrícola, n^o 21. Editorial Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria, Ministerio de Educación y Ciencia. Madrid. p. 144. 2006.
- SANDOWSKY, J., KOSSLAR, M., MADRZAK, J., GOLINSK, B. y CREGAN, B. “*Restriction of nodulation by Bradyrhizobium japonicum is mediated by factors present in the roots of Glycine max*”. *Applied and Environmental Microbiology* n^o 61, pp. 832-836. 1995.
- TRENKEL, M. “*Improving fertilizer use efficiency controlled release and stabilized fertilizers in agriculture*”. International Fertilizer Industry Association. Paris. 1997.
- ZIEGLER, D. “*Valeur azotée des engrais de ferme*”. *Perspectives agricoles* n^o 115, pp. 159-164. 1987.



Anexo: Tratado de Fitotecnia General de Pedro Urbano

CULTIVOS HERBÁCEOS	EXTRACCIÓN (kg N/t)		RENDIMIENTO (t/ha)		
	MÍNIMO	MÁXIMO	MÍNIMO	MÁXIMO	
Cereales	Trigo duro	24,5	28,2	1,5	6
	Trigo blando	24,5	28,2	1,5	6
	Cebada	20,1	23,1	1,6	6
	Avena	21,4	24,6	1	2,6
	Centeno	20,1	23,1	1	1,5
	Triticale	20,1	23,1	1	1,5
	Arroz	21	24,2	5	7
	Maíz grano	24,9	28,6	10	14
	Sorgo	25,6	29,4	3	6
	Otros cereales	21	24,2	1,6	4
	Leguminosas grano	Judías secas	55	63,3	0,6
Habas secas		50	57,5	0,8	2,5
Lentejas		44	50,6	0,6	1,2
Garbanzos		44	50,6	0,8	1,5
Guisante seco		48	55,2	0,8	1,8
Veza grano		48	55,2	0,8	1,5
Altramuz		44	50,6	0,6	1
Yeros		40	46	0,6	1,2
Otras leguminosas		45	51,8	0,6	1,2
Tubérculos	Patata	5,7	6,6	15	25
	Otros tubérculos	4	4,6	15	25
Cultivos industriales	Caña de azúcar	2,3	2,6	70	80
	Remolacha	4,2	4,8	20	40
	Algodón	60	69	1	3
	Lino textil	47	54,1	2	3
	Lino oleaginoso	47	54,1	2	3
	Girasol	50	57,5	1	3
	Soja	70	80,5	1,5	2,5
	Colza	47	54,1	2	3
	Tabaco	50	57,5	0,8	2,5
	Lúpulo	40	46	1	3
	Otros	20	23	1	3

CULTIVOS HERBÁCEOS <i>(Continuación)</i>		EXTRACCIÓN (kg N/t)		RENDIMIENTO (t/ha)	
		MÍNIMO	MÁXIMO	MÍNIMO	MÁXIMO
Cultivos forrajeros	Cereales invierno	2,1	2,4	12	20
	Maíz forrajero	2,4	2,8	60	70
	Sorgo forrajero	2,4	2,8	60	70
	Otras gramíneas	2,4	2,8	30	40
	Alfalfa	6,2	7,1	50	60
	Trébol	5	5,8	25	30
	Esparceta	5	5,8	25	30
	Zulla	5	5,8	25	30
	Veza forrajera	5	5,8	20	30
	Otras leguminosas	5	5,8	20	30
	Praderas polifitas	4	4,6	40	50
	Col forrajera	7	8,1	30	40
	Calabaza	5	5,8	20	30
	Otras forrajeras	5	5,8	20	30

CULTIVOS HORTÍCOLAS Y FLORES		EXTRACCIÓN (kg N/t)		RENDIMIENTO (t/ha)	
		MÍNIMO	MÁXIMO	MÍNIMO	MÁXIMO
Hortalizas	Col y repollo	7	8,1	20	40
	Berza	7	8,1	20	40
	Espárrago	10	24	5	7
	Apio	4	4,6	20	40
	Lechuga	3	3,5	15	40
	Escarola	4	4,6	20	50
	Espinaca	3	3,5	15	25
	Acelga	5	5,8	15	30
	Cardo	6	6,9	17	30
	Achicoria y otras	5	5,8	15	30
	Sandía	2,5	3	13	30
	Melón	3	3,5	13	40
	Calabaza y calabacín	5	5,8	15	30
	Pepino	2	2,3	15	30
	Pepinillo	7	8,1	15	30
	Berenjena	8	9,2	15	40
	Tomate	3	3,5	30	50
	Pimiento	4	4,6	17	40
	Guindilla	4	4,6	17	40
	Fresa y fresón	6	6,9	10	25
	Alcachofa	8	9,2	6	12
	Coliflor	7	8,1	15	25
	Ajo	7	8,1	4	10
	Cebolla	3	3,5	17	40
	Cebolleta	3	3,5	17	40
	Puerro	3	3,5	25	30
	Remolacha de mesa	5	5,8	15	50

CULTIVOS HORTÍCOLAS Y FLORES <i>(Continuación)</i>		EXTRACCIÓN (kg N/t)		RENDIMIENTO (t/ha)	
		MÍNIMO	MÁXIMO	MÍNIMO	MÁXIMO
Hortalizas	Zanahoria	5	5,8	17	35
	Rábano	5	5,8	15	25
	Nabo y otras	5	5,8	10	30
	Judías verdes	9,2	10,6	7	20
	Guisantes verdes	11	12,7	5	12
	Habas verdes	17	19,6	5	15
	Otras hortalizas	7	8,1	15	25
Flores	5	5,8	25	30	

CULTIVOS LEÑOSOS		EXTRACCIÓN (kg N/t)		RENDIMIENTO (t/ha)	
		MÍNIMO	MÁXIMO	MÍNIMO	MÁXIMO
Frutales	Naranja	10	11,5	20	50
	Mandarino	10	11,5	20	50
	Limonero	10	11,5	20	50
	Pomelo y otros	10	11,5	20	50
	Manzano	3,8	4,4	20	40
	Peral	3,8	4,4	20	30
	Membrillero	3,8	4,4	20	30
	Níspero	6,4	7,4	20	30
	Albaricoquero	4,8	5,5	13	30
	Cerezo	8	9,2	5	10
	Melocotonero	4,8	5,5	15	20
	Ciruelo	4,8	5,5	5	10
	Higuera	4,8	5,5	20	30
	Chirimoyo	6,4	7,4	20	30
	Aguacate	24	27,6	5	10
	Platanera	7	8	30	40
	Almendro	48	55,2	0,4	2,5
	Nogal	48	55,2	1	2,5
	Avellano	48	55,2	0,5	2,5
	Otros frutales	10	11,5	20	30
Viñedo	Uva de mesa	7,8	9	5	18
	Uva para vino	7,8	9	5	8
	Uva para pasas	7,8	9	5	8
Olivar	Olivar (aderezo)	19,2	22,1	1	4
	Olivar (almazara)	19,2	22,1	1,2	4
Otros cultivos leñosos	8	9,2	20	30	

Títulos publicados de la serie
*Ahorro y Eficiencia Energética
en la Agricultura:*

Nº Especial: *Consumos Energéticos en las Operaciones Agrícolas en España.* 2005

Tríptico promocional: *Medidas de Ahorro y Eficiencia Energética en la Agricultura.* 2005

Nº 1: *Ahorro de Combustible en el Tractor Agrícola.* 2005

Nº 2: *Ahorro y Eficiencia Energética en Agricultura de Regadío.* 2005

Nº 3: *Ahorro y Eficiencia Energética en Instalaciones Ganaderas.* 2005

Nº 4: *Ahorro, Eficiencia Energética y Sistemas de Laboreo Agrícola.* 2006

Nº 5: *Ahorro, Eficiencia Energética y Estructura de la Explotación Agrícola.* 2006

Nº 6: *Ahorro, Eficiencia Energética y Fertilización Nitrogenada.* 2007



c/ Madera 8, 28004 - Madrid
Tel: 91 456 49 00 Fax: 91 523 04 14
comunicacion@idae.es
www.idae.es



P.V.P.: 6 € (IVA incluido)