

CANTIDAD DE NITRÓGENO FERTILIZANTE QUE PUEDE AHORRAR EL AGRICULTOR SI APLICA EL BALANCE DE N SIMPLIFICADO

Fertilización nitrogenada en los cultivos de cebada y trigo en la Mancha Oriental

El ITAP, dentro del marco de la problemática de la contaminación de las aguas por nitratos de origen agrario, desarrolla ensayos en diferentes cultivos para abordar los objetivos propuestos. En el presente trabajo se presentan resultados de ensayos llevados a cabo con distintos manejos de la fertilización en

los cultivos de cebada y trigo. En el cultivo de cebada el objetivo fue cuantificar las curvas de respuesta del rendimiento al N disponible, y el porcentaje aportado por el suelo y el agua de riego. En el cultivo de trigo se evaluó la aplicación de diferentes dosis con veza, cebada, colza y barbecho como precedentes.

Marisa Maturano, Francisco Valentín y Prudencio López.

Instituto Técnico Agronómico Provincial de Albacete (ITAP).

Durante la segunda mitad del siglo pasado, la agricultura europea, como el resto de la agricultura mundial, sufrió un proceso de intensificación. En el período 1960-1980 el uso de fertilizantes fosfatados casi se duplicó pasando de 3,9 a 6,4 millones de toneladas (P_2O_5), y el uso de fertilizantes nitrogenados se incrementó de 3,3 a 10,4 millones de toneladas. Tanto el N como el P son los responsables de la eutrofización de numerosos lagos, humedales, etc. El incremento en la utilización de fertilizantes nitrogenados trae como consecuencia la disminución en la eficiencia en el uso del mismo, lo que implica un aumento de las pérdidas. Por ejemplo, la volatilización del amonio conduce a la lluvia ácida, los productos de la desnitrificación (N_2O) contribuyen al efecto invernadero y la lixiviación de nitratos al deterioro de la calidad de las aguas subterráneas. La disminución de la contaminación ambiental por nitratos de origen agrícola debe ser uno de los principales objetivos de la producción.

Existe una creciente preocupación con respecto a este tema por parte de la CE que queda reflejada en Directivas europeas como la de ni-



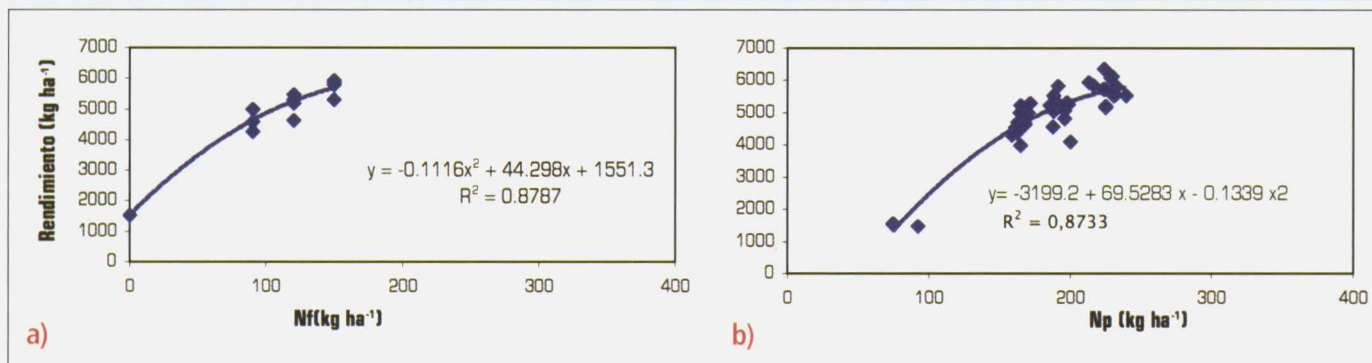
tratos (91/676/CEE), la de control y prevención integrado de la contaminación (96/61/EC) o la Directiva Marco del agua (2000/60/EC).

En España el Real Decreto 261/1996, BOE 61 (de 11-03-96) exige declarar como zona vulnerable a la contaminación por nitratos de origen agrario a todas las superficies conocidas del territorio cuya escorrentía fluya hacia aguas con concentración de nitratos mayores a 50 mg/l y que contribuyan a la contaminación, y en un plazo de dos años establecer programas

de acción y la elaboración de un código de buenas prácticas agrarias.

Por otra parte, se ha producido un cambio de escenario con el ingreso de nuevos países en la Unión Europea, lo que plantea un desafío a los agricultores españoles, que deberán aumentar la competitividad de sus explotaciones, entendida no solo por el incremento en los rendimientos sino en la capacidad de aprovechar al máximo la oferta ambiental, y, consecuentemente, la reducción del uso de los subsidios

Rendimiento en grano de cebada en función: a) N aplicado como fertilizante (N_f) y b) N disponible para el cultivo para todos los tratamientos y años de ensayo (N_p).



energéticos representados fundamentalmente por el aporte de agua y nitrógeno al sistema productivo.

El ITAP dentro del marco de esta problemática, ha llevado a cabo estudios en esta temática desde hace más de diez años, cuyos objetivos son:

- Identificar problemas de suelos y aguas, surgidos al intensificar los sistemas de producción, para mejorar la comprensión de su funcionamiento.

- Identificar los factores más limitantes que intervienen en la definición de la fertilización nitrogenada.

- Definir las medidas necesarias a tomar para mitigar la contaminación, y calcular los costes y la efectividad de las diferentes posibilidades en la definición de una política ambiental.

- Definir un programa de actuación de la fertilización nitrogenada teniendo en cuenta una rotación de cultivo y no un monocultivo.

Cebada

Metodología

Durante dos ciclos agrícolas, 2007 y 2009, se condujo un ensayo en el que se evaluaron cuatro niveles de N: 0, 90, 120 y 150 UFN, y cuatro fuentes de N diferentes: urea, N 32, NAC 27 y NPK + DCD, con el objetivo de evaluar las curvas de respuesta del rendimiento a la aplicación de N, en una parcela que llevaba seis años en siembra directa. El cultivo se condujo en condiciones de irrigación, libre de plagas y enfermedades.

Se midió el contenido de N mineral antes

de la siembra. En el año 2007 se consideró un único valor inicial de N mineral para todos los tratamientos ya que en este momento no había distintos niveles de N. La mineralización del suelo fue estimada en el tratamiento testigo. También se midió el aporte de N por el agua de riego. El N presente en el sistema se calculó según la **ecuación 1**.

Ecuación 1.

$$N_p = N_f + (N_{ini} + N_{min}) + N_{irri}$$

donde: N_p = N presente (kg/ha); N_f = N aportado como fertilizante (kg/ha); N_{ini} : contenido de N mineral a la siembra (kg/ha); N_{min} = nitrógeno mineralizado a partir de la materia orgánica (kg/ha); N_{irri} = aporte de N con el agua de riego (kg/ha).

Se determinó la absorción de N en la parte aérea y el contenido de N mineral en la recolección para el cálculo de la eficiencia global en el uso del N.

Los incrementos en el rendimiento en grano de cebada como respuesta a la dosis de N aportada comienzan a disminuir a partir de 120 kg N ha⁻¹

Curva de respuesta al nitrógeno

En la **figura 1** se presentan los resultados del rendimiento en grano en función de: a) N aportado como fertilizante y b) N presente en el sistema. Los incrementos en el rendimiento en grano como respuesta a la dosis de N aportada comienzan a disminuir a partir de 120 kg N ha⁻¹. Para los valores de N_p , el umbral encontrado es de 260 kg N ha⁻¹. En la **figura 1** se muestran los valores de rendimiento para las distintas fuentes confundidas, ya que no se encontraron diferencias estadísticamente significativas para las fuentes analizadas (Tuckey, $\alpha = 0,05$).

N aportado por el suelo y el agua de riego

En el **cuadro I** se presentan los valores de N aportado por el suelo y el agua de riego en los distintos tratamientos. Para el año 2007, estos valores representan entre el 34 y el 46%, mientras que en el año 2009 este aporte representa entre el 44 y el 58% del total de N presente.

El cultivo antecesor en el año 2009 fue maíz, el cual fue abonado con una dosis de 300 UFN, 100 UFN superiores a la dosis "óptima" para la zona, por lo que los valores de N inicial y de N mineralizado son mayores que para el año 2007.

Eficiencia en el uso del nitrógeno

Para conocer la eficiencia global en el uso del N del sistema productivo se realizó la relación entre el N disponible (N_{disp}), representado por el N absorbido en la materia seca aérea más el contenido de N mineral en la recolección, y el N_p . A la relación N_{disp}/N_p lo llamaremos "c".

CUADRO I.

Aporte de N por el fertilizante, el suelo ($N_{ini} + N_{min}$) y N aportado por el agua de riego en cada año de ensayo, en cada tratamiento.

Año	Dosis (UFN)	Fuente	N agua riego (kg ha ⁻¹)	N inicial (kg ha ⁻¹)	N mineralizado (kg ha ⁻¹)	N Total (Np) (kg ha ⁻¹)	
2007	0	-----	12	32,30	29,8	74	
		90		NPK + DCD		29,81	162
				Urea		34,06	166
				NAC 27		34,72	167
	120	N 32		34,46		166	
		NPK + DCD		33,90		196	
				Urea		31,42	193
				NAC 27		28,29	190
	150	N 32		38,43		200	
		NPK + DCD		35,70		228	
				Urea		37,00	229
				NAC 27		36,26	228
2009	0	-----	15	33,38	53	101	
		90		NPK + DCD		41,74	200
				Urea		57,69	216
				NAC 27		41,44	199
	120	N 32		46,28		204	
		NPK + DCD		41,95		230	
				Urea		69,44	257
				NAC 27		64,44	252
	150	N 32		67,64		256	
		NPK + DCD		53,13		271	
				Urea		73,34	291
				NAC 27		50,65	269
150	N 32	91,58	310				

CUADRO II.

Necesidades de N para producir una tonelada de grano de cebada (kg N t gr⁻¹) para las distintas dosis ensayadas y años de experimentación.

Dosis (UFN)	(kg N t grano ⁻¹)	
	2007	2009
0	20,18	20,36
90	19,95	28,86
120	22,00	32,36
150	25,39	25,61

Los valores medidos variaron entre 0,62 y 0,89, en función del N_p en el año 2007. En el año 2009 el rango osciló entre 0,42 y 0,86. Debido a la mayor cantidad de N presente en el sistema en este año, se midieron eficiencias más bajas en los tratamientos que recibieron dosis de N mayores.

La aplicación del método de balance de nitrógeno simplificado consiste en equilibrar las necesidades de N por parte del cultivo con la oferta de N del suelo más el del agua de riego, a la cual se le agrega la dosis de fertilizante nitrogenado y se considera una eficiencia global que se puede alcanzar según los resultados encontrados.

Para aplicar este método disponemos de información de los diferentes términos involucrados, generada a partir de ensayos de campo, aunque con distinto grado de precisión, por lo cual continuamos los trabajos enfocados a profundizar en el conocimiento de, por ejemplo, la mineralización de N a partir de la materia orgánica del suelo en función del cultivo precedente. La demanda y la oferta de N la obtendremos de:

- Demanda de nitrógeno. Las necesidades de N del cultivo para producir una tonelada de grano se presentan en el **cuadro II**. En el año 2007 este valor, expresado en relación a la dosis de N aplicada, osciló entre 20 y 25 kg N t gr⁻¹. En el año 2009 los valores medidos fueron similares que para el año 2007 en el tratamiento testigo (0 UFN) y 150 UFN, mientras que para las dosis de 90 y 120 UFN los valores fueron mayores.

- Oferta de nitrógeno:

- Aporte de N por el agua de riego. Este término del balance se cuantifica mediante una analítica del agua de riego que indique el contenido en NO_3^- de la misma y el conocimiento del volumen de agua aplicada.

- Aporte de N por el suelo. El aporte del suelo en nuestro caso donde no se aplica estiércol ni purines, está representado por el contenido de N mineral a la siembra más el N mineralizado a partir del humus, más el N que libera la descomposición de residuos de cosecha del cultivo precedente. Para nuestro ambiente, se recomienda cuantificar el N mineral a la siembra en los primeros 0,30 m de suelo, debido a las características edáficas, ya que a 0,40 m existe un horizonte petrocálcico que impide el desarrollo radicular. La profundidad medida a partir de la cual existe una reducción mayor al 50% en la longitud de raíces en la floración es de 0,25 m (Maturano, 2002).

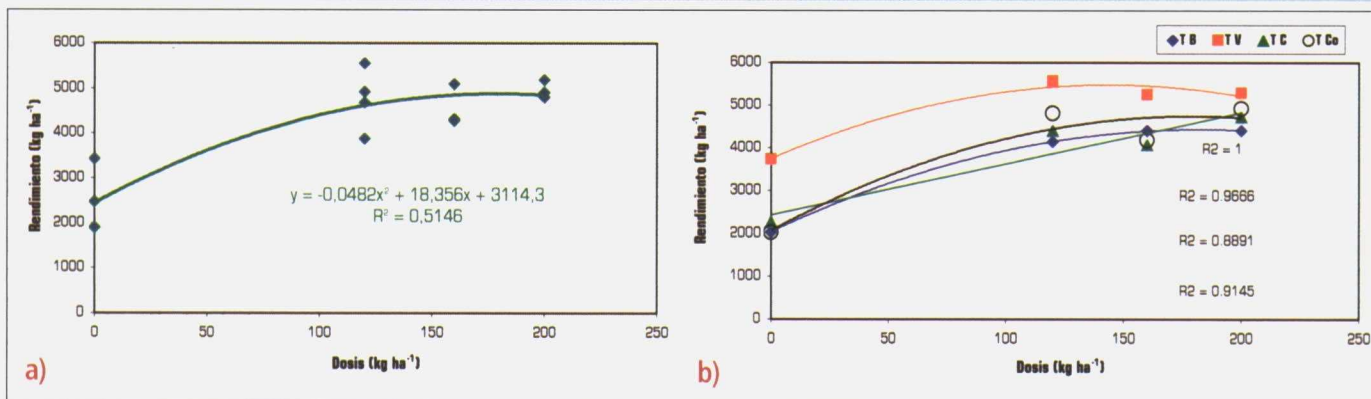
La predicción de los valores de mineralización es prioritaria para predecir correctamente la fertilización nitrogenada.

El N absorbido por el testigo no fertilizado refleja la cantidad de N que estuvo disponible para el cultivo desde el suelo: N inicial a la siembra + mineralización del humus + efecto del cultivo precedente. Asumimos que el tratamiento testigo exporta la totalidad de la oferta del suelo.

La mineralización de N desde el suelo, independientemente de su origen, ha sido cuan-

FIGURA 2.

Curvas de respuesta del rendimiento del trigo a la dosis aplicada. a) Para todos los cultivos precedentes promediados. b) Según el cultivo precedente: Barbecho TB, veza TV, cebada TC y Colza TCo.



tificada en los tratamientos que no recibieron aporte de N en forma de fertilizante, utilizando la **ecuación 2**.

Ecuación 2.

$$N_m = \Delta N + N_{abs} - N_{irri}$$

donde, N_m = N mineralizado $kg\ ha^{-1}$; ΔN = N residual - N inicial; N_{abs} = N absorbido ($kg\ ha^{-1}$) en el tratamiento testigo; y N_{irri} = N aportado con el agua de riego ($kg\ ha^{-1}$).

El valor de mineralización estimado en el tratamiento testigo fue de 30 y 53 $kg\ N\ ha^{-1}$, para los años 2007 y 2009, respectivamente. Estos valores son válidos para las condiciones bajo estudio.

Según el nivel de riesgo que quiera asumir el agricultor, el valor estadístico de la mineralización podrá ser el mínimo, o asumir que la liberación de N sólo sea superior en el 80% de los casos, o elegir un riesgo tal que exista deficiencia de N en el 50% de los casos.

Un ejemplo de aplicación del balance simplificado

Asumiendo a priori la simplificación de que la fertilización no modifica el valor de la mineralización, la ecuación de balance puede ser representada por la **ecuación 3** que utilizaremos en nuestro trabajo. El coeficiente c es una medida de la eficiencia global del N en el sistema, que engloba las pérdidas de N desde las distintas fuentes, ya que en los trabajos realizados no se midieron las distintas pérdidas (gaseosas, por lixiviación, etc).

Ecuación 3.

$$b \cdot Y = (N_{irri} + N_{ini} + N_{min} + N_f) / c$$

donde, b = cantidad de N absorbido por unidad de producción ($kg\ t^{-1}$); Y = rendimiento objetivo ($t\ ha^{-1}$); N_{irri} = N aportado con el agua de riego ($kg\ ha^{-1}$); N_{ini} = contenido de N mineral a la siembra ($kg\ ha^{-1}$); N_{min} = N mineralizado ($kg\ ha^{-1}$); N_f = N aplicado como fertilizante ($kg\ ha^{-1}$), c = eficiencia global.

Considerando los datos presentados anteriormente, generados a partir de ensayos de campo realizados por nuestro equipo de trabajo, las cifras serán las siguientes:

1. Las necesidades de N del cultivo para producir una tonelada de grano consideradas son de 26 $kg\ N / t\ grano$. Para un rendimiento objetivo de 6 t las necesidades serán de entre 156 $kg\ N\ ha^{-1}$.

2. Los aportes de riego medios para la zona de estudio para una cebada son de 267 mm. El contenido de NO_3^- del agua aplicada es de 25,1 $mg\ l^{-1}$, lo que representa un aporte de N de 15 $kg\ ha^{-1}$.

3. Consideramos un valor de N mineral ini-

CUADRO III.

N aportado por el suelo (N_{min} + N mineral a la siembra) y el agua de riego en los distintos tratamientos y años de ensayo.

Año	Precedente	Tratamiento	N agua riego (kg ha ⁻¹)	N inicial (kg ha ⁻¹)	N mineralizado (kg ha ⁻¹)	N Total (N _p) (kg ha ⁻¹)	
2003	Barbecho	0	21	14,5	70,8	85,3	
		120				205,3	
		160				245,3	
		200				285,3	
	Cebada	0		16,9	73,3	111,2	
		120				231,2	
		160				271,2	
		200				311,2	
	Colza	0		9,6	101,1	131,7	
		120				251,7	
		160				291,7	
		200				331,7	
	Veza	0		24,3	87,3	132,6	
		120				252,6	
		160				292,6	
		200				332,6	
2004	Barbecho	0	19	9,8	29,8	58,6	
		120		9,9		178,7	
		160		12,5		221,3	
		200		27,2		276	
	Cebada	0		12,4	11,5	42,9	
		120				167,7	
		160				201,3	
		200				248,9	
	Colza	0		8,6	57,6	85,2	
		120				9,1	205,7
		160				12,8	249,4
		200				14,8	291,4
	Veza	0		10,2	28,7	57,9	
		120				14,0	181,7
		160				10,9	218,6
		200				22,5	270,2

cial a la siembra de 35 kg ha⁻¹, este valor se determina a partir de un muestreo de suelo.

4. Asumiendo un mínimo riesgo, el valor de N mineralizado considerado es de 30 kg N ha⁻¹.

5. Asumimos un valor de eficiencia de 0,70 finalmente se obtiene:

$$- 156 \text{ kg N ha}^{-1} = (N_f + 15 \text{ kg ha}^{-1} + 35 \text{ kg ha}^{-1} + 30 \text{ kg N ha}^{-1})$$

$$- N_f = (156 \text{ kg N ha}^{-1} - 80 \text{ kg ha}^{-1})$$

6. Asumiendo una eficiencia global de 0,7:

$$- N_f = 109 \text{ kg N ha}^{-1}$$

Trigo

Metodología

Para evaluar la respuesta a la fertilización nitrogenada en función del cultivo precedente en trigo se realizó un ensayo durante los ciclos agrícolas 2003-04 y 2004-05 en los que se evaluaron cuatro dosis de N: 0, 120, 160 y 200 UFN en cuatro situaciones de disponibilidad de N según el cultivo precedente: colza, veza, cebada y barbecho.

Las mediciones realizadas fueron las mismas que para el cultivo de cebada.

Curva de respuesta al nitrógeno

En la **figura 2** se presenta la respuesta del rendimiento a) para la media de todos los cultivos precedentes, y b) en función del cultivo precedente. Se ha obtenido un coeficiente de correlación de R² = 0,51 cuando se evalúa la respuesta a la dosis considerando los distintos cultivos precedentes en su conjunto. El ajuste mejora considerablemente cuando se analiza el rendimiento en función del cultivo precedente (**figura 2b**).

Esto sucede porque el N que está disponible para el cultivo para la formación del rendimiento no procede únicamente del aplicado como fertilizante, sino como se explicaba anteriormente, hay aportes del suelo y del agua de riego.

Por esta razón enfatizamos en estudiar las curvas de respuesta del rendimiento de los diferentes cultivos en función del nitrógeno presente en el sistema (N_p), y la importancia de cuantificar los distintos términos que intervienen en el N_p a la hora de definir la dosis de fertilizante a aplicar. En la **figura 3** se presenta la curva de respuesta de rendimiento del cultivo de trigo en función del N_p, es decir, teniendo en cuenta el N aportado con el agua de riego y el N_{min}.

Los incrementos en el rendimiento en grano como respuesta al contenido de N_p comienzan a disminuir a partir de 250 kg N ha⁻¹, mientras que como hemos visto en la **figura 2**, a partir de 150 kg ha⁻¹ aportados como fertilizante no encontramos respuesta en ningún caso.

N aportado por el suelo y el agua de riego

En el **cuadro III** se presentan los valores de N aportado por el suelo, dosis de fertilizante y agua de riego en los dos años de ensayo.

Considerando los contenidos de N previstos calculados que están por encima del umbral para alcanzar un rendimiento de 5.000 kg ha⁻¹, en el año 2003 la suma del N aportado por el suelo + agua de riego representa entre el 37 y el 52% de N necesario para alcanzar el rendimiento objetivo. En el año 2004 este rango está entre el 12 y el 28% del N_p. En el segundo año de ensayo todos los tratamientos estaban implantados sobre un antecesor de cebada.

Eficiencia en el uso del nitrógeno

Las eficiencias, calculadas siguiendo la misma metodología empleada para el cultivo



de cebada, dan valores de entre 0,61 y 0,92, en el año 2003. En el año 2004 el rango osciló entre 0,51 y 0,94. La variabilidad entre años está en relación directa con la cantidad de nitrógeno presente en el sistema (N_p), en función del cultivo antecesor además de la dosis aplicada:

- Demanda de nitrógeno. En el **cuadro IV** se presentan los valores de las necesidades del cultivo en kg de N para producir una tonelada de grano, en función de la dosis aplicada.

- Oferta de nitrógeno:

- Aporte de N por el agua de riego. Se cal-

cula de la misma forma que fue explicado en el cultivo de cebada. La dosis media de riego para el cultivo de trigo es de 314 mm y el contenido de NO_3^- es de 25,1 mg l⁻¹.

- Aporte de N por el suelo. Para el cultivo de trigo las consideraciones realizadas con respecto a la profundidad de muestreo en el cultivo de cebada también tienen validez, siempre que el cultivo esté bajo riego. El valor de mineralización estimado en el tratamiento testigo fue de 71 y 101 kg N ha⁻¹ en el año 2003 y entre 11 y 58 kg N ha⁻¹ para el año 2004.

Conclusiones

En el ambiente estudiado el contenido de N mineral inicial en el suelo ($\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$) por sí solo no muestra una relación clara con el rendimiento del cultivo y no permite definir la dosis de N a aplicar. Es fundamental considerar el N aportado por el suelo y el N en el agua de riego.

Para el cultivo de cebada, si consideramos los contenidos de N presentes en el sistema

Patentkali®

Equilibrio Perfecto

- Especialidad en potasio con equilibrados contenidos de azufre y magnesio.
- Todos los nutrientes están en forma de sulfatos, rápidamente asimilables.
- Beneficia notablemente rendimiento y calidad.
- Su uso en agricultura ecológica está autorizado según CE 834/2007 y CE 889/2008.

Patentkali® 30% K₂O · 10% MgO · 42% SO₃



K plus S Española S.L., División K+S KALI GmbH · Joan d'Austria 39-47 · 08005 Barcelona · España
Teléfono: 932 247 334 · Fax: 932 259 291 · E-Mail: kali@ks-spain.com · Web: www.kali-gmbh.com

Una empresa del grupo K+S

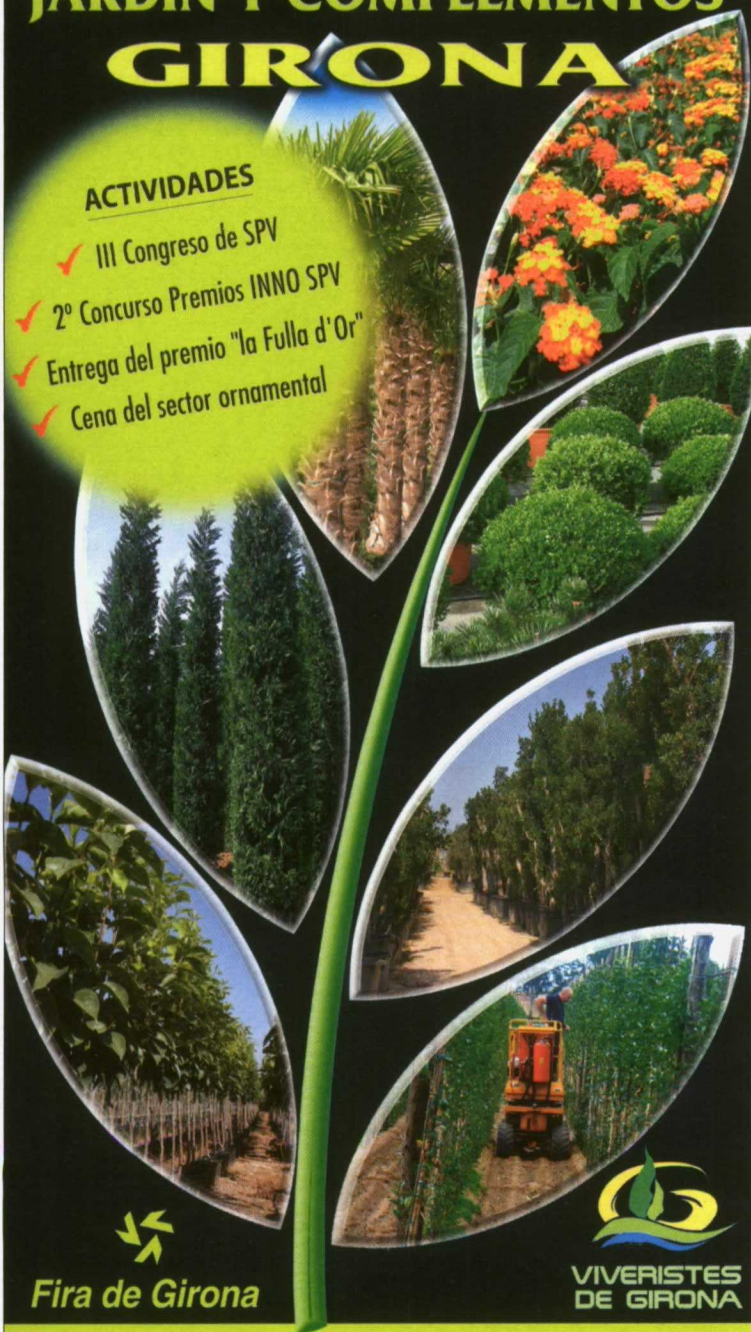
SPV

SALÓN DE LA PLANTA JARDÍN Y COMPLEMENTOS

GIRONA

ACTIVIDADES

- ✓ III Congreso de SPV
- ✓ 2º Concurso Premios INNO SPV
- ✓ Entrega del premio "la Fulla d'Or"
- ✓ Cena del sector ornamental



Fira de Girona

VIVERISTES
DE GIRONA

16, 17 y 18 SEPTIEMBRE 2010

info@firagirona.com - www.firagirona.com

i 34 900 352 930

Con el soporte de

Generalitat de Catalunya
Departament d'Agricultura
i Alimentació i Acció Rural

Diputació de Girona

Ajuntament de Girona

Colabora

VIVERISTES
DE CATALUNYA

Patrocina

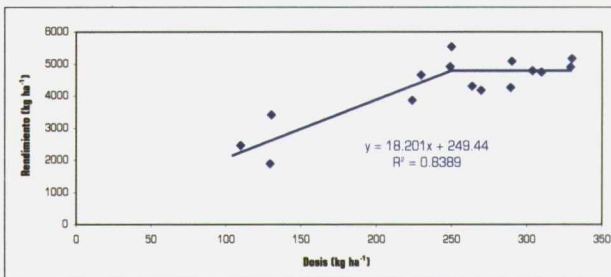
LA VANGUARDIA

la Caixa

DOSSIER FERTILIZACIÓN

FIGURA 3.

Curva de respuesta del rendimiento del trigo a la cantidad de nitrógeno presente en el sistema (N_p).



CUADRO IV.

Necesidades de N para producir una tonelada de grano de cebada (kg N t gr^{-1}) para las distintas dosis ensayadas y años de experimentación.

Dosis (UFN)	(kg N t grano ⁻¹)	
	2003	2004
0	33	34
120	33	30
160	28	25
200	25	25

que permiten alcanzar un rendimiento óptimo, el N aportado por el suelo + el agua de riego, representa entre el 37 y el 58% de ese N, mientras que para el cultivo de trigo el rango oscila entre 12 y 52%. Estos porcentajes representan la cantidad fertilizante que puede ahorrar el agricultor si aplica el método del balance de N simplificado.

El término de la mineralización es el que presenta mayor variabilidad y mayor complejidad. Es fundamental poder cuantificarlo de la forma más precisa para definir la dosis de N a aplicar. En este momento está en ejecución un proyecto centrado en profundizar el estudio de la mineralización de N en cereales sembrados sobre distintos precedentes. El objetivo final es sincronizar la liberación de N en los momentos de demanda de N por parte del cultivo. ●

Agradecimientos:

Parte de los datos presentados han sido generados dentro del proyecto CICYT AGL2001-2214-C06-01 y por convenio de colaboración con la empresa Fertiberia.

Bibliografía ▼

- Maturano, Marisa. 2002. Estudio del uso del agua y del nitrógeno dentro del marco de una agricultura sostenible en las regiones Castellano-Manchega y Argentina. Tesis Doctoral. 246 pp. Universidad de Castilla-La Mancha.

- Meisinger, J. J. 1984. Evaluating plant-available nitrogen in soil-crop systems, in: Hauck, R. D. (Ed.), ASA-CSSA-SSSA, Madison WI, Nitrogen in crop production, 1984, pp. 391-416.

- Rémy, J. C., Hébert, J. 1977. Le devenir des engrais azotés dans le sol, C. R. Acad. Agric. Fr. 163 (1977) 700-714.