

# COMPARACIÓN DE HERRAMIENTAS DE DECISIÓN PARA OPTIMIZAR EL USO DEL NITRÓGENO EN MAÍZ EN SISTEMAS DE RIEGO POR ASPERSIÓN

M. Maturano<sup>1</sup>, D. Quílez<sup>2</sup>, R. Isla<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Fundación para el Desarrollo Sostenible de Castilla-La Mancha (FUNDESCAM). Instituto Técnico Agronómico Provincial-ITAP. Avenida Gregorio Arcos s/n. Apdo 451, 02080, Albacete (España)

<sup>2</sup> Unidad de Suelos y Riegos (Unidad asociada EEAD-CSIC). Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón. Gobierno de Aragón.

Avda. Montañana 930, 50059, Zaragoza (España)

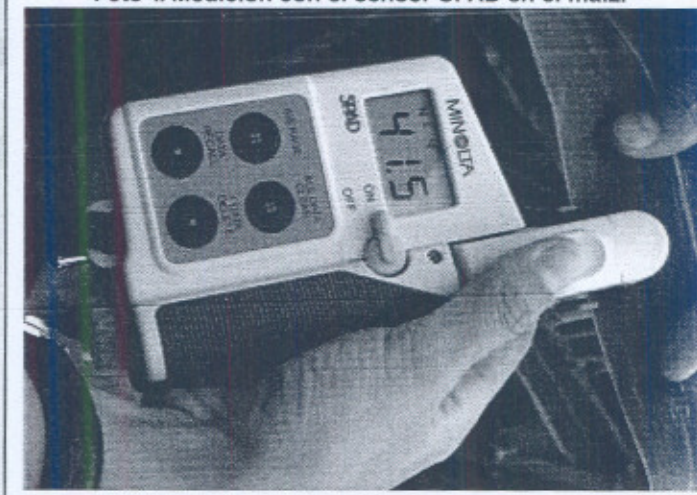
## INTRODUCCIÓN

Las prácticas agrarias deben compaginar la obtención de altos rendimientos con la protección medioambiental. Esto implica la necesidad de ajustar de forma precisa las cantidades y momentos de aplicación del fertilizante para obtener la máxima rentabilidad económica con el mínimo impacto ambiental. Con esta finalidad se han ido desarrollado diferentes métodos o herramientas de ajuste de la fertilización (Lemaire, 1997).

A través de años de experimentación se ha determinado en diferentes ambientes la respuesta del rendimiento del cultivo de maíz a la fertilización nitrogenada, cuantificando, localmente, la dosis óptima por encima de la cual no existe respuesta a la aplicación de N. La utilización de esta dosis óptima o "Dosis fija" no incluye el N aportado con el agua de riego, o el N aportado por el suelo, por lo que esta relación podría no ser válida para situaciones extremas o no contempladas en los experimentos de los que se derivan.

Para incluir en las recomendaciones de N la variabilidad debida a los suelos, el agua de riego, o los cultivos precedentes se desarrolló el método del Balance de Nitrógeno, ampliamente difundido para la determinación de las dosis óptimas de N (Meisinger y Randall, 1991). Con el método del Balance de N se tiene en cuenta, por un lado el N que está disponible en el suelo o que se puede mineralizar de la materia orgánica durante el ciclo del cultivo y el N aportado con el agua de riego. La fertilización nitrogenada debe complementar estos aportes para llegar a satisfacer las necesidades de N del cultivo (extracción de N) teniendo en cuenta su potencial productivo. En el método de balance de N se puede incluir

Foto 1. Medición con el sensor SPAD en el maíz.



en caso necesario otras variables como, por ejemplo, el aporte de cultivos precedentes de leguminosas o el N procedente de fuentes orgánicas.

En los últimos años se han desarrollado nuevos indicadores, estrechamente ligados al estado de nutrición nitrogenada en diferentes cultivos, expresados por medidas como el contenido de  $\text{NO}_3^-$  en la base del tallo (Justes et al., 1997), la transmitancia foliar (Peng et al., 1996), y propiedades de reflectancia de la cubierta vegetal (Isla y López-Lozano, 2005). Las dos últimas dependen del contenido de clorofila de las hojas, y son particularmente útiles ya que representan una medida no destructiva y rápida.

Los medidores portátiles de clorofila (SPAD 502 (Foto nº 1), N-Tester) constituyen una herramienta rápida, fiable, y no destructiva para determinar el estado nutricional de un cultivo. Estos medidores determinan la cantidad relativa de clorofila en hoja midiendo la transmitancia en el rojo (650 nm, pico de absorbancia de la clorofila), y en el rojo cercano (940 nm, absorbancia de la planta no debida a la clorofila). Con el uso de esta herramienta se pueden aplicar dosis de N moderadas o bajas inicialmente; posteriormente las lecturas realizadas con el SPAD indicarán si el cultivo está sufriendo o no un estrés nutricional, y si es necesario o no realizar una corrección, tardía, del abonado. >>>

# MAÍZ

►►► Para lograr una precisión adecuada con el uso de estas herramientas es necesaria una calibración y evaluación local de las mismas, para ello se requiere la cuantificación de los diferentes parámetros que intervienen mediante investigación local. El objetivo del presente trabajo es comparar estas tres herramientas de decisión para determinar la más adecuada para el ajuste del fertilizante nitrogenado en el cultivo de maíz en condiciones de riego por aspersión: "Dosis fija" determinada para cada ambiente, aplicación del "Balance de Nitrógeno" y utilización del medidor de clorofila "SPAD" en etapas avanzadas del cultivo para decidir la segunda cobertera.

## DESCRIPCIÓN DE LOS ENSAYOS

Durante el año 2010 se llevaron a cabo dos ensayos de maíz, en dos zonas típicas de su cultivo en España. Se realizó un ensayo en la finca del Centro de Investigación y tecnología Agroalimentaria de Aragón (CITA, Gobierno de Aragón), y otro en la finca "Las Tiesas" perteneciente al Instituto Técnico Agronómico Provincial (ITAP) de la Diputación de Albacete. En ambas localidades el cultivo se regó de forma adecuada mediante aspersión, y se condujo libre de plagas y enfermedades.

En cada localidad se dispuso de tres zonas, con diferentes niveles de N mineral inicial en el suelo que denominamos: Alta, Media y Baja (Foto 2). El objetivo de crear estos escenarios fue simular las posibles condiciones de disponibilidad de N en el suelo que pueden producirse en condiciones reales de cultivo. En cada una de estas tres zonas se evaluaron tres metodologías diferentes para la determinación de la dosis de N a aplicar: (T1) la aplicación de la Dosis fija para cada ensayo determinada en ensayos previos en cada ambiente, (T2) el Balance de N a partir de un análisis del suelo antes de la siembra, y (T3) la medición del estado nutricional del cultivo antes de floración masculina con un medidor de clorofila (SPAD), para decidir la segunda cobertera. En ambos ensayos se dispuso de un tratamiento Testigo que no recibió N (T0) y una parcela sobrefertilizada con N para obtener los rendimientos máximos potenciales y asegurar zonas sin deficiencia de N.

Para la evaluación de las tres metodologías en todos los casos se realizó una fertilización de fondo de 50 unidades de fertilizante nitrogenado (UFN), y luego se aplicó cada método con los siguientes criterios:

### T1. Aplicación de una "Dosis fija":

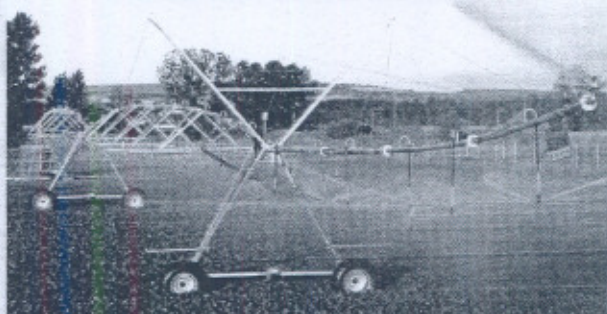
A partir de información generada en trabajos previos en ambos ambientes se determinó la Dosis fija: dosis de N para alcanzar la producción máxima. Para Albacete (Fig.1) fue de 200 UFN (Maturano et al., 2002) y en Zaragoza de 225 UFN (Isla et al., 2006).

La dosis de N se fraccionó en tres aplicaciones, antes de la siembra, con el maíz en 6 hojas y con el maíz en 15 hojas. En Albacete, el fraccionamiento fue 50+100+50 kg N/ ►►►

**irrifrance**

www.irrifrance.com

## Líderes en riego y en su confianza



Desde su fundación, en 1967, IRRIFRANCE es el principal fabricante de material de riego en Europa y uno de los más importantes a nivel mundial.

Presente en 82 países a través de una completa red de más de 200 distribuidores, IRRIFRANCE es hoy el único fabricante que produce directamente pivot, rampas laterales, enrolladores y tuberías de aluminio y polietileno.

IRRIFRANCE se adapta a las necesidades de nuestros clientes, a las nuevas tecnologías, fomenta el ahorro de energía y un riego más ecológico.

Nuestro último avance es el nuevo i-rotor, galardonado con la medalla de oro en el último Salón SIMA 2011 de París.



distribuidor



**RIEGOS DEL BAÑO**

Peñaranda De Bracamonte. 37300 (Salamanca)

923 542084 / 923 541671

comercial@riegosdelbano.com

www.riegosdelbano.com

►►► ha y en Zaragoza 50+100+75 kg N/ha.

**T2: Decisión basada en un Balance de Nitrogeno:**

Para aplicar el balance se realizaron las siguientes mediciones y cálculos.

**\* Mediciones:**

- Contenido de N mineral a la siembra, mediante un muestreo de suelo (Foto nº 3).
- Contenido de N en el agua de riego.

**\* Cálculos:**

**Mineralización:** se calculó utilizando una tasa diaria de mineralización potencial entre emergencia y madurez del cultivo, medida en ensayos anteriores, 73 kg N/ha en Zaragoza y 52 kg N/ha en Albacete. La necesidad en N del cultivo para producir una tonelada de grano se fijó en un valor de 21 kg N/ t gr. El rendimiento esperado era de 14 y 15 t/ha en Zaragoza y Albacete, respectivamente, por lo que las extracciones utilizadas han sido de 294 y 315 kg N / ha.

**\* Estimaciones:**

Se consideró un nivel de pérdidas medias de N del sistema productivo del 30 %.

Con estos datos se calculó el balance para cada parcela elemental y zona (Alta, Media, Baja). De la dosis de N a aplicar resultante del balance, se aplicaron 2/3 cuando el cultivo tuvo 6 hojas, y el 1/3 restante en floración masculina. T3. Decisión de la segunda cobertera en función de las lecturas relativas del SPAD.

En este tratamiento, se aplicó un abonado de fondo de 50 UFN, y una primera cobertera con el maíz en 6 hojas, de 100 UFN. Antes de la salida de los penachos se realizó una medición con el sensor SPAD en la hoja de la mazorca, en las parcelas de este tratamiento y en las parcelas sobrefertilizadas sin deficiencia de N. Se calculó la lectura relativa del SPAD = (valor SPAD parcela / valor SPAD parcela sobrefertilizada)\*100 El criterio seguido fue el siguiente:

Si la lectura relativa del SPAD fue mayor al 95 %, no se abonó.

Si la lectura relativa SPAD oscilaba entre 90 y 95 %, se abonó la parcela con 50 UFN.

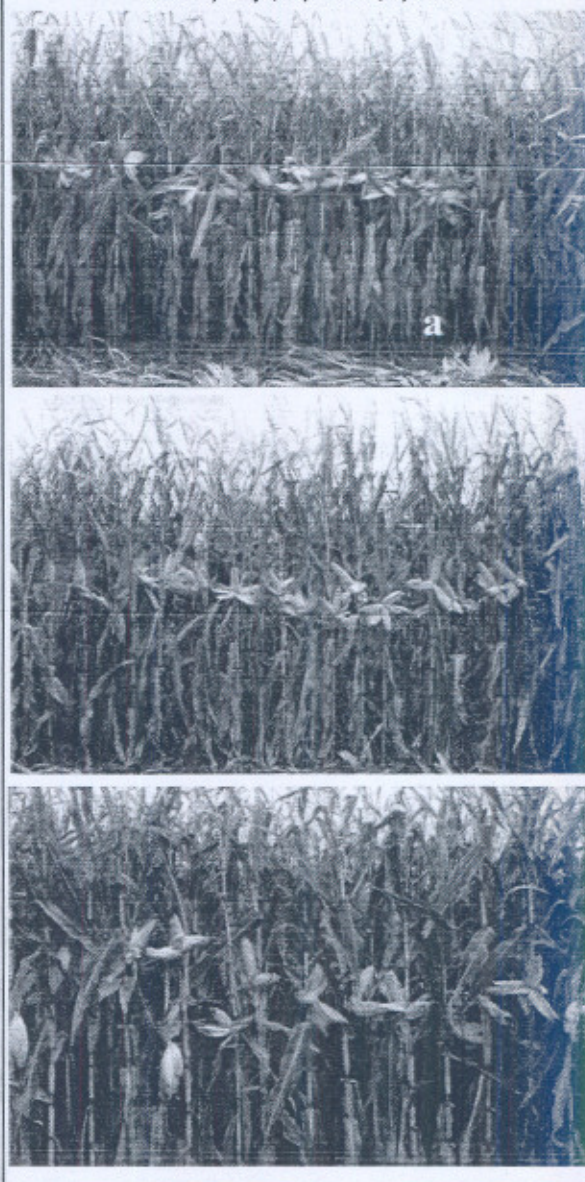
Si la lectura relativa SPAD fue menor al 90 % se abonó la parcela con 100 UFN.

**RESULTADOS OBTENIDOS**

**Nitrógeno disponible en el suelo**

En la Tabla 1 se presentan los valores de N mineral inicial a la siembra para cada zona en Zaragoza y Albacete. El suelo del ensayo de Zaragoza cuenta con una profundidad útil para las raíces de 120 cm, mientras que en Albacete existe un horizonte petrocálcico a 40 cm que impide la profundización radicular. Además en el caso de Zaragoza la pedregosidad es relativamente baja mientras que en Albacete es del 42,9 %.

**Foto 2. Parcelas de maíz con zonas de disponibilidad de N: a) Baja, b) Media, c) Alta.**



El nitrógeno disponible en los primeros 40 cm de suelo antes de la siembra en Albacete fue de 114, 51, y 15 kg N/ha, en la zona Alta, Media y Baja, respectivamente. En el ensayo de Zaragoza la cantidad de N en los primeros 60 cm (los de mayor actividad radicular) fue de 206, 76, y 52 kg de N ha<sup>-1</sup>, para las zonas Alta, Media y Baja respectivamente.

**Cantidades de N fertilizante aplicadas en cada tratamiento**

En las Figuras 2 y 3 se presentan los valores de las dosis totales aplicadas, resultantes de utilizar cada una ►►►

►►► de las herramientas de decisión propuestas para Zaragoza y Albacete. En Zaragoza, la dosis fija resultó ser superior en las tres zonas de disponibilidad de N con respecto a las dosis definidas mediante la aplicación del Balance de N y el criterio SPAD. Para la zona Baja y Media, las dosis aplicadas según estos dos métodos fueron similares, y mayores que las aplicadas en la zona Alta. En la zona Alta la dosis definida por medio del Balance de N fue menor en un 48 % con respecto a la definida por el criterio SPAD. En este ambiente el método del Balance de N parece tener mayor sensibilidad al contenido de N mineral a la siembra que el criterio SPAD.

En Albacete la dosis aplicada según el criterio de dosis fija resultó ser inferior a las definidas por los otros dos métodos, en todos los casos a excepción de la definida por el criterio SPAD en la zona Alta. La dosis ajustada por Balance de N y SPAD fue mayor cuanto menor fue el contenido de N mineral inicial, en forma más marcada que en Zaragoza. Este resultado está relacionado con la menor disponibilidad de N en cada zona, definida por la profundidad del suelo. En este ambiente, las dosis definidas por el método del balance de N fueron siempre superiores a las definidas por el criterio SPAD. La aplicación del criterio SPAD permitió un ahorro de 81, 56, y 32 kg N con respecto al Balance de N en la zonas Baja, Media y Alta, respectivamente.

### Efecto de las distintas herramientas en el rendimiento del maíz

En las dos localidades donde se realizó el experimento, la

Figura 1. Respuesta del rendimiento en grano (kg ha<sup>-1</sup>) a las dosis de N aplicadas con el fertilizante (Nf) en Albacete.

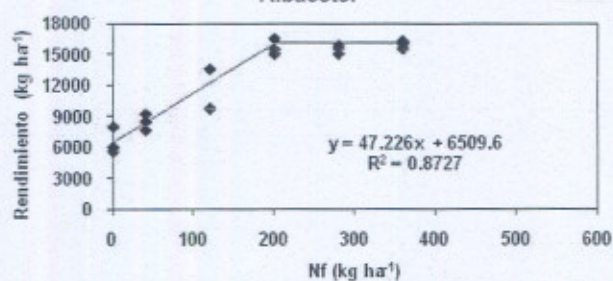


Foto 3. Muestreo de suelo.



alta disponibilidad de N en la zona Alta fue suficiente para que no existieran diferencias estadísticas en el rendimiento ( $\alpha=0.05$ ) entre los diferentes tratamientos evaluados. ►►►

**Zimmatic™**

**LINDSAY™**

Un sistema Zimmatic® es mucho más que un pivó – es una solución de riego hecha a sus necesidades.

Cada sistema está respaldado por un experto grupo de profesionales que le aportarán su experiencia y apoyo sobre el producto y su tecnología.

Campaña tras campaña, este sistema probará su eficacia y rendimiento en cualquier tipo de terreno y de cultivo.

Es por lo que somos expertos en nuestro campo...y el suyo.  
[www.zimmatic.com](http://www.zimmatic.com)

955 692 247  
maviles@lindsay-europe.com

►►► incluido el testigo sin fertilizar (Tabla 2). En esta situación es cuestionable el comportamiento de métodos como el del Balance de N y el criterio SPAD, ya que en ambos casos su aplicación indicó la necesidad de fertilizar. En el caso de Zaragoza el criterio del Balance de N (T2) se comportó mejor que el criterio SPAD (T3), ya que fue capaz de considerar el N inicial del suelo. Si embargo en el ensayo de Albacete, con ambos métodos (T2 y T3) se sobrestimaron de forma importante, las necesidades de N del maíz. Hay que decir que en el caso del criterio SPAD las dosis mínimas de N, fijadas por el diseño del ensayo, son de 150 kg N/ha.

En la zona Media, tanto para Zaragoza como para Albacete, existieron diferencias en el rendimiento entre el tratamiento Testigo y el resto de los tratamientos. La falta de diferencia en el rendimiento entre los tres métodos evaluados indica que el mejor método será aquel con el que se aplique una dosis menor de N. En el caso de Zaragoza, la diferencia en las dosis de N entre el método del Balance de N y el criterio SPAD fue muy pequeña, mientras que el uso de la "Dosis fija" sobrestima las necesidades de N. En Albacete, por el contrario, con el empleo de la Dosis fija se obtiene una mayor eficiencia. En esta localidad con el método del Balance de N se aplicó una dosis 69 kg N/ha mayor que la "Dosis fija" y se obtuvo el mismo rendimiento.

En la zona Baja en Zaragoza se mantiene la misma tendencia encontrada en la zona Media. En Albacete el empleo de la dosis fija sigue siendo la que permite un mayor ahorro de N sin disminuir rendimientos, mientras que el empleo del Balance de N sobrestima la necesidad de N en 106 kg/ha con respecto a la "dosis fija". El uso del criterio SPAD presentó una situación intermedia entre el empleo de la "dosis fija" y el método del balance.

**CONCLUSIONES PRELIMINARES**

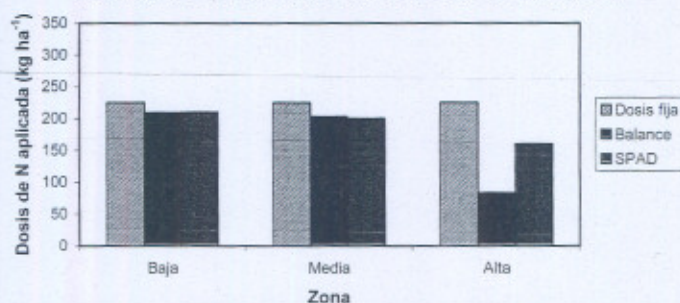
Es preciso disponer de información "local" acerca de la capacidad de mineralización media de nitrógeno en los distintos ambientes. Las diferencias entre ambientes, fundamentalmente en los suelos estudiados, determinan diferencias en la disponibilidad de N en cada sistema productivo y, por lo tanto, diferentes resultados en el comportamiento de los métodos evaluados. Cuando existe una alta disponibilidad de N en el sistema, todos los métodos evaluados deberán ser ajustados para evitar sobrefertilizar las parcelas.

En Zaragoza, tanto en la zona de Media como de Baja disponibilidad de N, el método de balance de N y el criterio

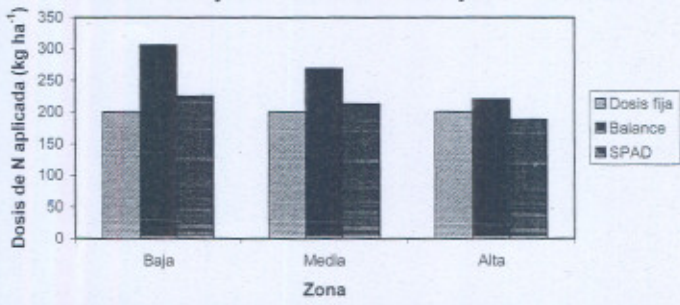
**Tabla 1. Valores medios ( $\pm$  error estándar) de la concentración de nitratos (N-NO<sub>3</sub>, mg kg<sup>-1</sup>) en el suelo a distintas profundidades antes de la siembra de maíz (6 Mayo) en el ensayo de Zaragoza y (4 de Mayo) en el ensayo de Albacete.**

Zaragoza				
Profundidad (cm)				
Zona	0-30	30-60	60-90	90-120
Alta (A)	26,7 $\pm$ 1,6	18,6 $\pm$ 2,2	18,9 $\pm$ 1,9	19,8 $\pm$ 1,3
Media (M)	12,3 $\pm$ 1,1	5,0 $\pm$ 0,6	5,5 $\pm$ 0,8	5,5 $\pm$ 1,0
Baja (B)	5,7 $\pm$ 0,4	6,4 $\pm$ 1,3	8,7 $\pm$ 1,6	11,8 $\pm$ 1,6
Albacete				
Profundidad (cm)				
Zona	0-40			
Alta (A)	37,1 $\pm$ 3,4			
Media (M)	16,6 $\pm$ 1,9			
Baja (B)	4,9 $\pm$ 0,3			

**Figura 2. Dosis de nitrógeno aplicadas en los distintos tratamientos y escenarios en el ensayo de Zaragoza.**



**Figura 3. Dosis de nitrógeno aplicadas en los distintos tratamientos y escenarios en el ensayo de Albacete.**



SPAD resultaron en diferencias muy pequeñas en la dosis de N a aplicar y su aplicación permitió un ahorro de N. El uso de una dosis fija de 225 kg N/ha aparentemente sobrestimó ligeramente la dosis a aplicar.

En Albacete, tanto en la zona de Media como de Baja disponibilidad de N el empleo del criterio de "Dosis fija" fue el que permitió un mayor ahorro de N sin disminuir rendimientos, seguido por el "criterio SPAD, y finalmente el método del Balance de N.

La aplicación de cualquiera de los métodos evaluados permite hacer un ahorro de la cantidad de N aplicada en ►►►

»»» relación al abonado "convencional" que realizan los agricultores en la zona.

Los resultados que se presentan en este trabajo son resultados preliminares de un año de ensayo. Esta previsto continuar con la evaluación de estos criterios de fertilización al menos durante los dos próximos años.

### AGRADECIMIENTOS

El trabajo se ha realizado dentro del proyecto del PN de I+D+i AGL2009-12897-C02-02 cofinanciado con fondos FEDER

### BIBLIOGRAFÍA

Isla, R., López-Lozano, R., 2005. Comparación de distintos índices de vegetación para detectar deficiencias de nitrógeno en maíz. Revista de teledetección 24:5-9.

Isla, R., J. Cavero, R. Yague, D. Quilez. 2006. Balances de nitrógeno en un cultivo de maíz en regadío en Aragón. En: Balance de nitrógeno en sistemas de cultivo de cereal de invierno y de maíz en varias regiones españolas. M. Quemada (Ed.). Justes, E., Jeuffroy, M. H., Mary, B. 1997. Wheat, barley, and durum wheat. In: Lemaire, G. (Ed) 1997. Diagnosis of the nitrogen status in crops. Springer-Verlag, Berlin, pp. 73-91.

Lemaire, G. (Ed) 1997. Diagnosis of the nitrogen status in crops. Springer-Verlag, Berlin

Maturano M., Silvestre Jiménez A., Cantos Soriano I., López Córcoles. 2007. Corn yield and nitrogen use efficiency in the first 3 years of a monoculture. En: Book of Proceedings. 15 N Workshop. Lérida (España).

Tabla 2. Valores medios del rendimiento de grano (t/ha al 14% de humedad) en los distintos tratamientos y para cada uno de los escenarios en los ensayos de Zaragoza y Albacete. Medias seguidas de la misma letra no son significativamente diferentes (P>0.05).

Zona	Tratamiento	Zaragoza		Albacete	
		Prod. grano (t/ha)		Prod. grano (t/ha)	
Baja	T0	3.29	a	4.0	a
	T1	9.49	b	14.1	b
	T2	9.30	b	15.7	b
	T3	8.76	b	14.6	b
	Signif. (P)	< 0.01		< 0.01	
Media	T0	5.65	a	10.7	a
	T1	10.96	b	16.8	b
	T2	10.59	b	15.4	b
	T3	10.69	b	16.0	b
	Signif. (P)	< 0.01		< 0.01	
Alta	T0	12.39	a	15.2	a
	T1	12.33	a	16.4	a
	T2	12.52	a	17.0	a
	T3	12.35	a	16.7	a
	Signif. (P)	NS		NS	

Meisinger, J. J., Randall G. W. 1991. Estimating nitrogen budgets for soil-crop systems. En: Managing nitrogen for groundwater quality and farm profitability (Follet R. F. et al., eds.) SSSA, Madison, WI, EEUU. Pp 85-124.

Peng, S., García, F. V., Laza, R. C., Sanico, A. L., Visperas, R. M., and Cassman, K. G. 1996. Increased N use efficiency using a chlorophyll meter on high-yielding irrigated rice. Field Crops Res. 47: 243-252.0



## Nueva generación de pulverizadores

AMP Sprayers serie Worker, modelos 36 y 42 de 3600 my 4200 l.

- Suspensión compensada de la lanza y del eje
- Eje de 100mm. Con ataque de 10 tornillos de serie modelo 42
- Chasis de acero 5T-52
- Incorporación de la nueva barra Hydrus premiada en FIMA 2010 con las siguientes características:
- Sistema de estabilizador con eje central elevado
- Sistema antilátigo doble lateral
- Ancho de tratamiento de hasta 33 m.
- 2ª generación del sistema de amortiguación y bloqueo
- Control de estabilidad desde la cabina
- ISO BUS opcional
- Bombas de membranas de hasta 460 l m.
- Bombas centrifugas de fundición o inoxidable
- Circuito de abonos líquidos ácidos y/o suspensiones opcional

