

SISTEMA PARA LA APLICACIÓN SELECTIVA DE NITRÓGENO EN TIEMPO REAL. EL N-SENSOR



La aplicación de fertilizantes, en el contexto de la denominada agricultura de precisión, se fundamenta en la sustitución de una dosis media constante, a nivel de la unidad parcelaria, por una cantidad variable de acuerdo con la variabilidad intra-parcelaria (dentro de la parcela).

Esta variabilidad intra-parcelaria puede determinarse a partir de datos previamente recopilados, como características del suelo, mapas de rendimientos, contenido en materia orgánica, etc. La adecuada interpretación de toda esta información permitiría el establecimiento de mapas de fertilización diferenciales cuya aplicación posterior depende fundamentalmente de la disponibilidad de un sistema de posicionamiento global (GPS) que permita relacionar, en todo momento, situación exacta de la máquina y dosis a aplicar.

Existe, sin embargo, otra variante de agricultura de precisión, basada en una actuación 'en tiempo real' la cual, apoyada en sensores o captadores de información, permite la traducción e interpretación de los valores medidos

de forma que se modifique, en continuo, las condiciones de regulación de los equipos para adaptar la cantidad final de fertilizante aplicado a las necesidades puntuales. Consecuentemente, una de las características de este sistema de trabajo *just in time* no precisa para su funcionamiento la utilización del Sistema de Posicionamiento Global.

En este artículo se presenta el nuevo concepto N-Sensor, desarrollado por Hydro Agro Precise, basado en un conjunto de sensores capaces de identificar la variabilidad del cultivo en la parcela y traducir esta variabilidad en necesidades de nitrógeno, actuando automáticamente sobre el controlador de la abonadora de forma que se modifique, en tiempo real, la cantidad aplicada.

PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE ESTE SISTEMA

Si "el cultivo es el mejor sensor de su propias condiciones" (Legg & Stafford, 1998), todos aquellos sistemas que permitan interpretar lo que el cultivo 'dice' serán capaces de generar la información necesaria para el establecimiento de la variabilidad espacial en cuanto a la aplicación de insumos.

Siguiendo los criterios mostrados por este principio, el N-Sensor utiliza las características del espectro de luz reflectante para, mediante una calibración y una regresión adecuada, transformar esta reflexión emitida por el cultivo en necesidades de nitrógeno.

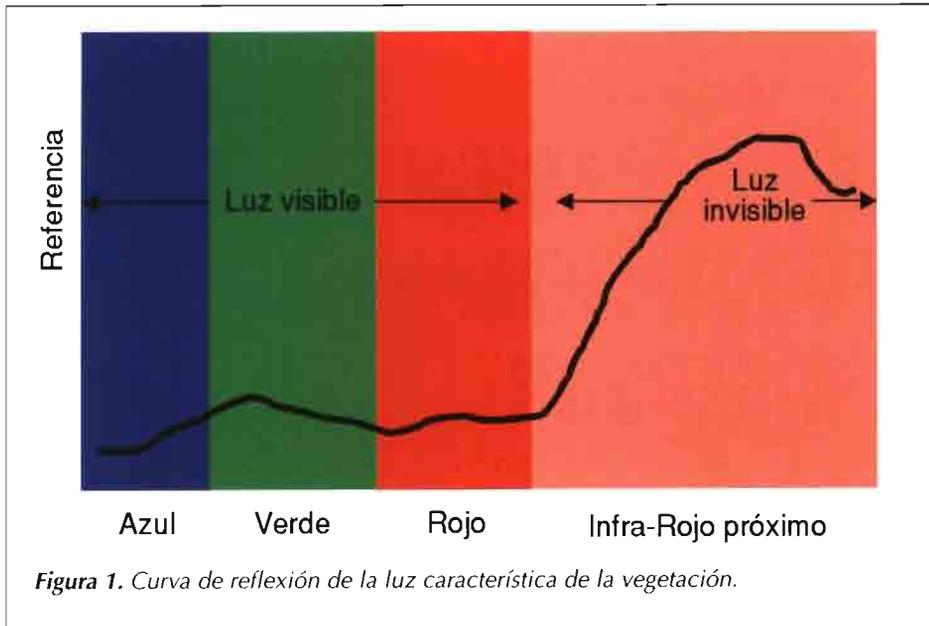


Figura 1. Curva de reflexión de la luz característica de la vegetación.

Los datos de reflexión de la luz así obtenidos son procesados y transformados en unidades de nitrógeno a partir de la regresión establecida tras el proceso de calibración inicial (Figura 3) y la información enviada al controlador de la abonadora (Figura 4).

PROCESO AGRONÓMICO DE CALIBRACIÓN Y FUNCIONAMIENTO

El proceso se inicia con la fase de calibración. Para ello se elige una zona de la parcela en la que la vegetación presente las condiciones óptimas

Fundamentado en la curva de reflexión de la luz de la vegetación (Figura 1), el sistema puede relacionar los distintos segmentos de aquella con diferentes aspectos del cultivo como contenido en clorofila, cantidad de biomasa, etc.

El diagnóstico del estado de la vegetación lo realizan cuatro sensores localizados dos a cada lado del tractor, cubriendo un área total de 50 m² (Figura 2). Un quinto sensor se coloca en el centro y enfocado hacia arriba, de forma que mide la intensidad directa de la luz solar, para que de este modo se puedan realizar las correcciones necesarias en función de las características climáticas del momento. En este sentido cabe señalar que el sistema funciona correctamente siempre que la luz solar incida sobre el cultivo con un ángulo superior a 30°.

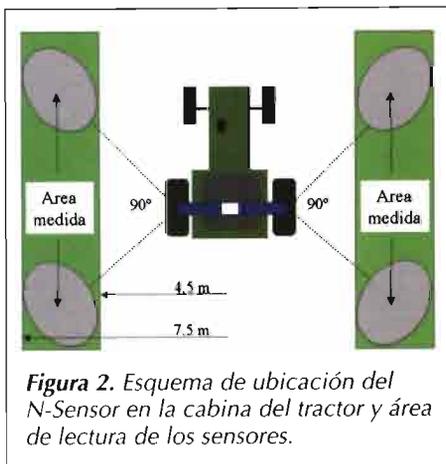


Figura 2. Esquema de ubicación del N-Sensor en la cabina del tractor y área de lectura de los sensores.

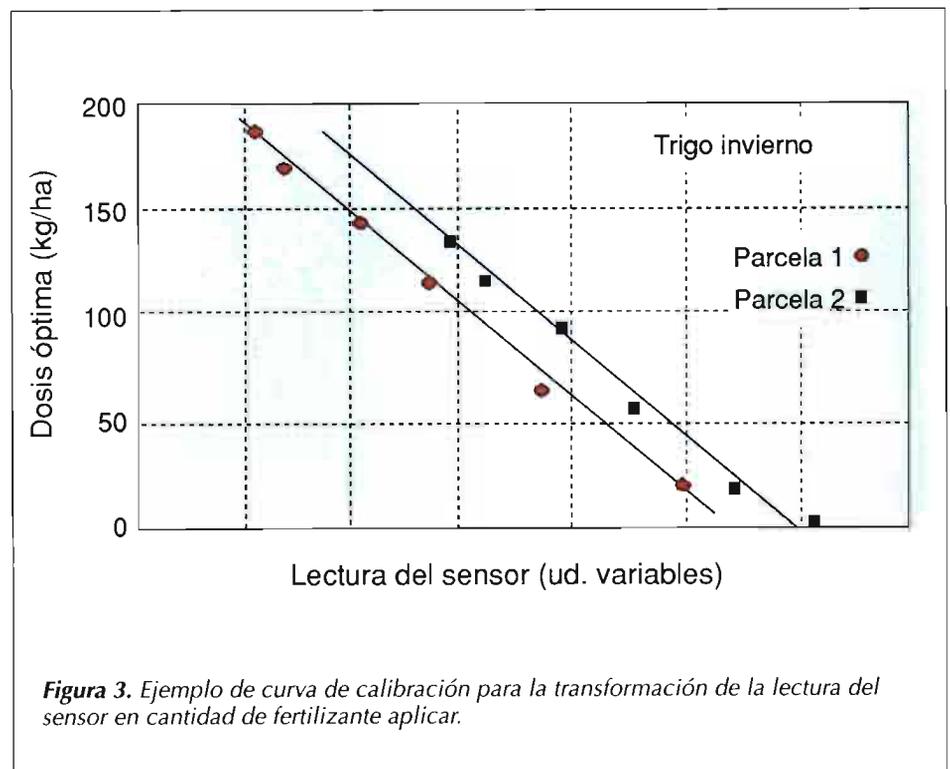


Figura 3. Ejemplo de curva de calibración para la transformación de la lectura del sensor en cantidad de fertilizante aplicar.

La luz así reflejada, con una frecuencia de lectura de 1 segundo, se transmite mediante fibra óptica a la unidad de procesamiento central. Las características y la precisión de los sensores permiten detectar cambios en la vegetación imposibles de observar con el ojo humano. Además, dado que la banda visible al ojo no abarca toda la amplitud reflejada en la Figura 1, el sistema posibilita la detección de variaciones fuera del rango correspondiente a la luz visible.

y se realizan una serie de lecturas con el N-Sensor. Tras este proceso de lectura, se introduce el valor de la cantidad óptima de fertilizante (siempre en kg de nitrógeno) correspondiente a estas condiciones de la vegetación.

Una vez realizado el calibrado inicial es necesaria la introducción de información suplementaria como estadio vegetativo del cultivo (preferentemente en la escala de Zadocks), contenido de nitrógeno del producto comercial aplicar, máxima y mínima cantidad de nitrógeno a distribuir y biomasa.

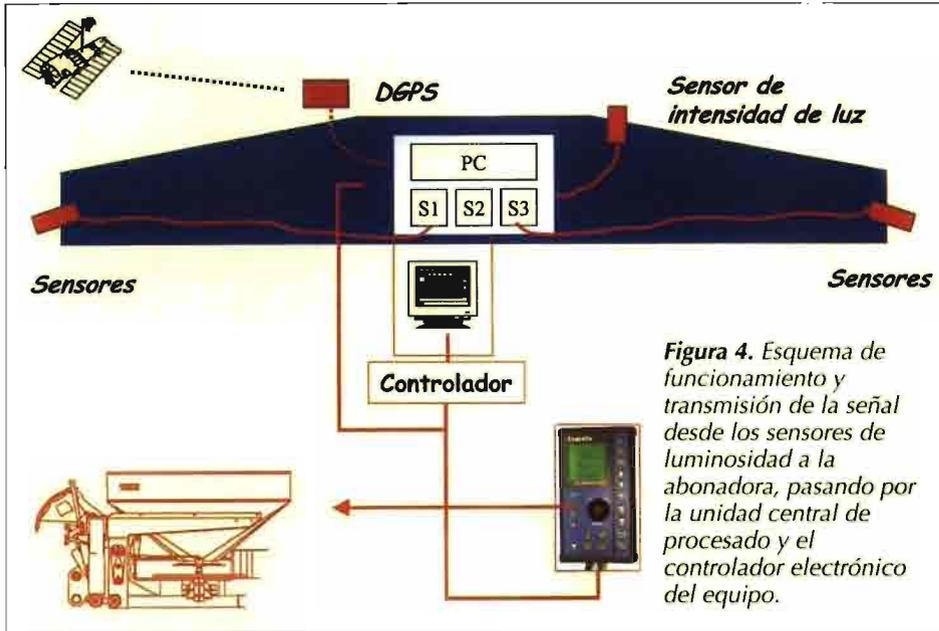


Figura 4. Esquema de funcionamiento y transmisión de la señal desde los sensores de luminosidad a la abonadora, pasando por la unidad central de procesado y el controlador electrónico del equipo.

aplicación nitrogenada ejecutado (Figura 6). Es decir, la distribución del fertilizante no se realiza según mapas de abonado establecidos a partir de datos históricos sino que, tras la aplicación de las unidades fertilizantes necesarias, se elabora el mapa real de la aplicación, pudiendo ser éste utilizado posteriormente con un sistema de posicionamiento global convencional.

El N-Sensor no es un sistema exclusivo para el trabajo con una marca de abonadoras, ya que su diseño permite la adaptación directa a equipos como Amazone, Bredal, Bogballe, Vicon, etc. con la única condición de utilizar modelos provistos de sistemas de control electrónicos.

Con toda esta información (Figura 5) el procesador central es capaz de transformar la lectura de la luz reflejada por el cultivo en cualquier zona de la parcela en cantidad de fertilizante a distribuir (kg/ha) y enviar esta información al controlador de la abonadora para que éste modifique las condiciones de regulación de la misma.

Durante el trabajo puede decirse que se realiza el proceso inverso al habitual en los sistemas basados en los sistemas de posicionamiento global. En este caso, si el N-Sensor se conecta a un receptor de señal GPS puede elaborar, en tiempo real, el mapa de la vegetación, a partir de las lecturas de la radiación emitidas, y, con los datos transformados, generar el mapa de

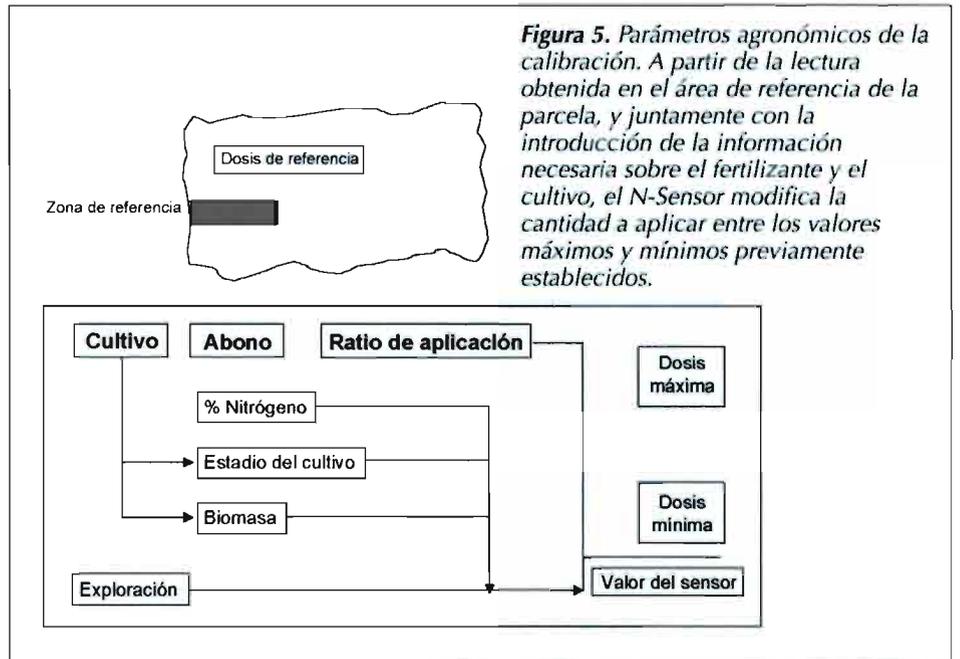


Figura 5. Parámetros agronómicos de la calibración. A partir de la lectura obtenida en el área de referencia de la parcela, y juntamente con la introducción de la información necesaria sobre el fertilizante y el cultivo, el N-Sensor modifica la cantidad a aplicar entre los valores máximos y mínimos previamente establecidos.

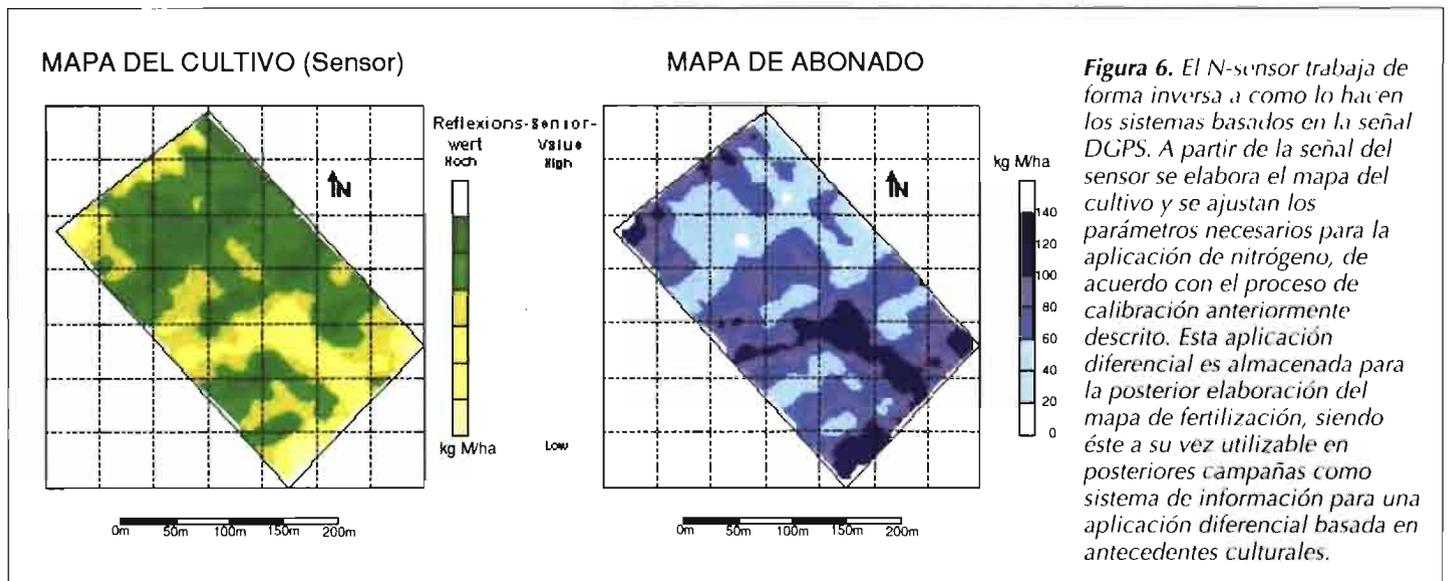


Figura 6. El N-sensor trabaja de forma inversa a como lo hacen los sistemas basados en la señal DGPS. A partir de la señal del sensor se elabora el mapa del cultivo y se ajustan los parámetros necesarios para la aplicación de nitrógeno, de acuerdo con el proceso de calibración anteriormente descrito. Esta aplicación diferencial es almacenada para la posterior elaboración del mapa de fertilización, siendo éste a su vez utilizable en posteriores campañas como sistema de información para una aplicación diferencial basada en antecedentes culturales.

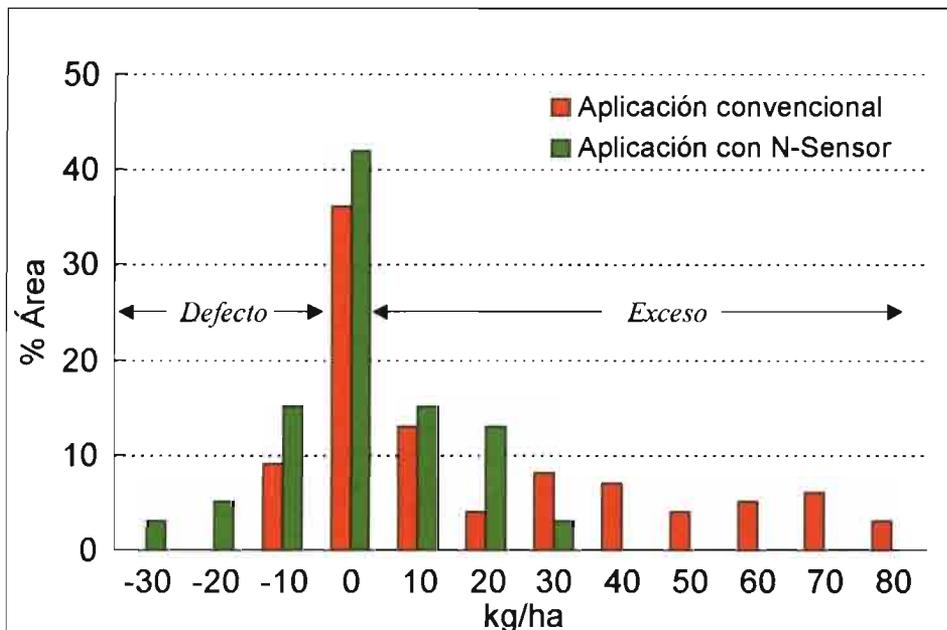


Figura 7. Distribución porcentual de la superficie en función de la cantidad de nitrógeno recibida. Los valores negativos indican superficie con defecto en la aplicación y los valores superiores a 0 cantidades en exceso.

del ensayo. Sin embargo, hablando en términos medios, esta cifra se estima en 169 kg/ha, lo que representa un incremento de producción medio del 2.2% en ensayos realizados en trigo de invierno (Figura 5).

Estas ventajas no solamente representan incrementos en la cantidad producida, sino también se han observado diferencias en la calidad final del producto. Así, ensayos realizados en Gran Bretaña muestran un incremento del contenido de proteína, ya que ésta pasa del 10.8% cuando se realiza la aplicación de forma convencional, al 11.6% cuando se utiliza el N-Sensor. Teniendo en cuenta la penalización económica aplicada por cada 0.1% en valores inferiores al 11% (1.6 €), esta disminución representa 3.2 € de reducción por tonelada.

ALGUNOS RESULTADOS

Numerosas pruebas de campo se han desarrollado en diferentes países de la Unión Europea (entre los que lamentablemente no se encuentra España) con objeto de evaluar las ventajas de la utilización del N-Sensor frente a la aplicación convencional de nitrógeno basada en una dosis fija por hectárea. Evidentemente, los resultados obtenidos presentan grandes variaciones en función de las condiciones y características del medio en que las pruebas se han realizado. Sin embargo, un análisis global de las mismas puede dar una idea aproximada de las ventajas obtenidas del sistema.

Admitiendo como Eficiencia en la Utilización de Nitrógeno (EUN) la diferencia entre los aportes y las extracciones (producción x contenido en nitrógeno), la Figura 7 muestra la distribución porcentual de la superficie según el valor alcanzado por éste índice. Valores negativos indican deficiencias en el aporte de nitrógeno y valores positivos indican excesos, representando el valor 0 el punto de mayor eficiencia. Se observa en la gráfica como la aplicación tradicional, basada en el mantenimiento constante de

la cantidad, pone de manifiesto que una parte importante de la superficie ha recibido cantidades superiores a las necesarias. La aplicación en las mismas condiciones utilizando el N-Sensor reduce considerablemente los puntos con exceso de aplicación, e incrementa el porcentaje de superficie que ha recibido la dosis necesaria.

El incremento de cosecha generado, comparado siempre con una aplicación convencional basada en la unidad parcelaria, presenta notables diferencias en función de las condiciones

BALANCE ECONÓMICO

Para la realización de cualquier balance económico es necesario inicialmente establecer el precio de adquisición del equipo a utilizar. Admitiendo un valor de adquisición del N-Sensor de 20 100 € (unas 3 350 000 PTA) y tomando como referencia los valores de incremento de producción medios obtenidos en los ensayos de campo realizados pueden realizarse

Años	Superficie trabajada (ha/año)					
	1	100	200	500	750	1000
1	1.76	176	352	880	1 320	1 760
2	3.52	352	704	1 760	2 640	3 520
3	5.28	528	1 056	2 640	3 960	5 280
4	7.04	704	1 408	3 520	5 280	7 040
5	8.80	880	1 760	4 400	6 600	8 800
6	10.56	1 056	2 112	5 280	7 920	10 560
7	12.32	1 232	2 464	6 160	9 240	12 320
8	14.08	1 408	2 816	7 040	10 560	14 080
9	15.84	1 584	3 168	7 920	11 880	15 840
10	17.60	1 760	3 520	8 800	13 200	17 600

Tabla 1. Estimación del periodo de recuperación de la inversión en función de la superficie de trabajo anual, en el supuesto de un valor de adquisición de 3 500 000 PTA. Datos en miles de pesetas (x 1 000) para un cultivo de trigo con un rendimiento medio de 4 000 kg/ha, un incremento de producción debido a la utilización del N-Sensor del 2.2% y un precio de venta del producto de 20 PTA/kg.

algunas suposiciones en cuanto a periodo y superficie necesaria para la recuperación de la inversión. Se presenta a continuación un análisis estimado adaptado a nuestras condiciones partiendo del supuesto de una producción media de trigo de invierno en regadío de 4 000 kg/ha y un precio del producto de 120.24 €/t (20 PTA/kg).

Según se aprecia en la Tabla 1, el periodo de tiempo necesario para la recuperación de la inversión necesaria es función de la superficie anual trabajada. Así, la recuperación se realizará en dos años para una superficie anual de 1 000 ha, 3 años para 750 ha, 4 años para 500 ha ó 9 años para 200 ha. Debe tenerse en cuenta que en este supuesto únicamente se ha considerado el incremento de cosecha obtenido por unidad de superficie, por lo que a estas ventajas deberían añadirse las consiguientes derivadas del incremen-

to del contenido de proteína, reducción de la cantidad total de fertilizante y, de más difícil cuantificación, la reducción de las pérdidas debidas a lixiviaciones, excesos, etc. y el menor impacto medioambiental generado.

Las cifras anteriores hacen pensar en que, si bien puede resultar difícil la justificación de la incorporación del equipo en una explotación individual, salvo escasas excepciones, no lo es tanto el hecho de pensar en su utilización por parte de empresas de servicios y, fundamentalmente, cooperativas. En estos casos, no sólo desde el punto de vista de garantizar la superficie anual a abonar, sino teniendo en cuenta las ventajas agronómicas que una distribución de la dosis ajustada a las necesidades puede generar en el balance global. Además, hasta ahora se ha planteado exclusivamente la actuación sobre cereales de invierno, pero es evidente que se trata de un siste-

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- LEGG, B. J.; STAFFORD, J. V. (1998): *Precision agriculture - New technologies*. En: *Proceedings of the Brighton Crop Protection Conference-Pest & Diseases*, pp 1143-1150. British Crop Protection Council.
- GIL, E. (2000) *La uniformidad en la distribución del abono*. *Agrotécnica*, III (1), 62-67.
- STAFFORD, J. V. (2000) *Implementing Precision Agriculture in the 21st Century*. *Journal of Agricultural Engineering Research* (2000) 76, 267-275.

ma fácilmente adaptable a la aplicación nitrogenada a otros cultivos más rentables como el maíz o, y no solamente para la aplicación de fertilizantes sólidos, sino también para los fertilizantes líquidos. ■

LA MAQUINARIA MÁS INNOVADORA



Abonadoras de "gran anchura" y sembradoras de siembra directa de cereal

Sembradoras neumáticas, binadoras y sembradoras hortícolas

Sucesores de **Ortiz de Zárate, S.L.**

C/ Salobre n.º 4 - 03540 PLAYA DE SAN JUAN (Alicante) - Tels. 649 47 65 10 - 629 61 47 26 - Fax 965 15 59 81 - E-mail: sozsl@hotmail.com