

# N-SENSOR. SISTEMA DE APLICACIÓN SELECTIVA DE NITROGENO EN TIEMPO REAL

*Emilio Gil<sup>1</sup> – Antoni Gimenez<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Escola Superior d'Agricultura de Barcelona – UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA  
Urgell, 187 – 08036 – BARCELONA; e-mail: emilio.gil@upc.es

<sup>2</sup>Antonio Carraro Ibérica, S.A.  
Pº de la Campsa, 65 – 08940 – CORNELLÀ ; e-mail: carraro@abaforum.es

## **Resumen**

La aplicación de fertilizantes resulta hoy por hoy indispensable para asegurar un rendimiento óptimo de los cultivos. Por otra parte, desde el punto de vista económico y ecológico, es necesario establecer correctamente la cantidad de fertilizante adecuada y el momento preciso para su aplicación. Estos y otros aspectos son posible determinarlos actualmente con la ayuda de sistemas informáticos e instrumentos más o menos sofisticados como el N-Sensor.

El N-Sensor es una herramienta característica de la agricultura de precisión desarrollada inicialmente para la gestión y distribución de nitrógeno. Se trata de un equipo compuesto por serie de sensores y un software capaz de trabajar “sobre la marcha” midiendo la luz reflejada por el cultivo y transformando esta información a cantidad óptima de nitrógeno por hectárea. Esta información es transmitida posteriormente al sistema electrónico de control de la abonadora el cual modifica en continuo las condiciones de regulación de la misma de forma que se aplique en cada caso la dosis calculada.

Las ventajas más importantes del sistema N-Sensor son el incremento del margen bruto por hectárea obtenido, la posibilidad de aplicación y respuesta en tiempo real, la mejora de la calidad y la cantidad de producto obtenida y una mejor gestión y eficiencia en el uso del nitrógeno. Sin embargo, el elevado coste de adquisición hace difícil su amortización en la mayoría de explotaciones, especialmente en aquellas situadas en zonas con producciones reducidas.

## **Resume**

*Fertilisers are indispensable in agriculture to ensure optimum yield. However, it is the right amount and the right time of the application which makes the difference in terms of both, economy and ecology. Exactly determining these decisive factors is a demand and highly task greatly simplified by the high-performance software tools and measuring instruments as N-Sensor.*

*The N-Sensor is a Precision Farming tool developed initially for the management of crop nitrogen inputs. It is a sensor and software system which operates “on the move” measuring light reflectance from the crop, translating this into an optimal nitrogen application rate enabling the fertilizer application equipment to apply the required rate for the specific part of the field.*

*Increasing gross margin, real time application, improving yield and quality and a better use of nitrogen are the most remarkable obtained benefits. But, in the opposite, high cost of the system makes difficult the general use by the farms, specially in areas with low yield values.*

## **Introducción**

La continua disminución de los márgenes brutos de los cultivos, como consecuencia del descenso de los precios de los productos obtenidos, así como el incremento de la presión medioambiental hace necesaria una correcta utilización de los insumos. Aplicar la cantidad óptima de fertilizantes ayuda a alcanzar el máximo potencial económico de los cultivos, a la vez que reduce la contaminación medioambiental, disminuyendo los efectos negativos de un exceso de aplicación. Sin embargo, la determinación del nivel óptimo de nitrógeno o de compuestos NPK es, a menudo un proceso complejo que requiere la consideración de numerosas variables como el tipo de suelo, el precedente cultural y las condiciones climáticas.

La determinación exacta de la dosis óptima de fertilizante es condición necesaria pero no suficiente para garantizar el éxito final. De hecho, aspectos como las características físicas y granulométricas de los abonos y las condiciones de utilización de los equipos juegan un papel fundamental en todo el proceso. Una aplicación de las unidades fertilizantes necesarias desde el punto de vista agronómico, con un equipo mal regulado, con una distribución asimétrica y un coeficiente de variación por encima de los valores medios recomendados, o la utilización de abonos de granulometría heterogénea, con dificultad para obtener una adecuada distribución tanto en sentido longitudinal como transversal repercute negativamente en el desarrollo posterior del cultivo, además de ser causa de pérdidas económicas importantes.

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 permite 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.

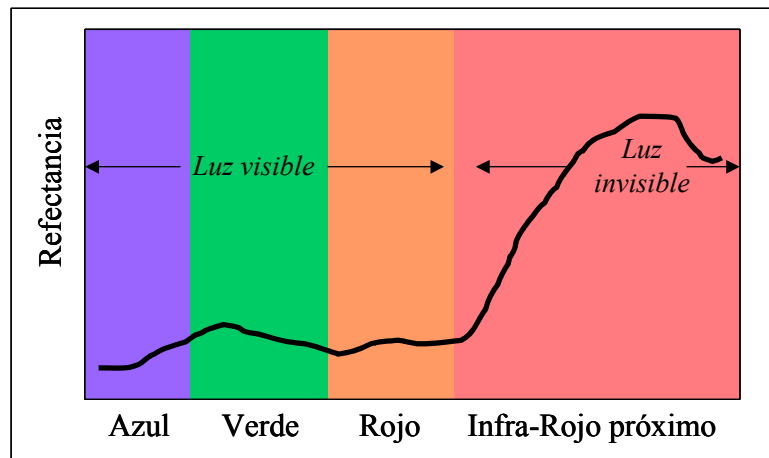
En este trabajo se presenta el nuevo concepto N-Sensor, desarrollado por Hydro Agro Precise, basado en un conjunto de sensores capaces de identificar la variabilidad del cultivo en la parcela y traducir esta variabilidad en necesidades de nitrógeno, actuando automáticamente sobre el controlador de la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

## **Principio de funcionamiento**

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.

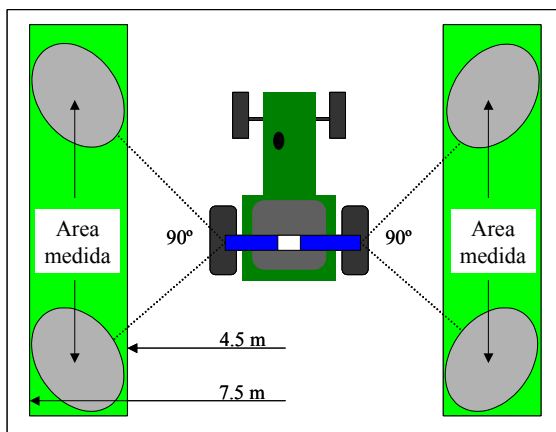
Basado en este principio, el N-Sensor utiliza las características del espectro de luz reflectante para, mediante una calibración y una regresión adecuada, transformar esta reflexión emitida por el cultivo en necesidades de nitrógeno.

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



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

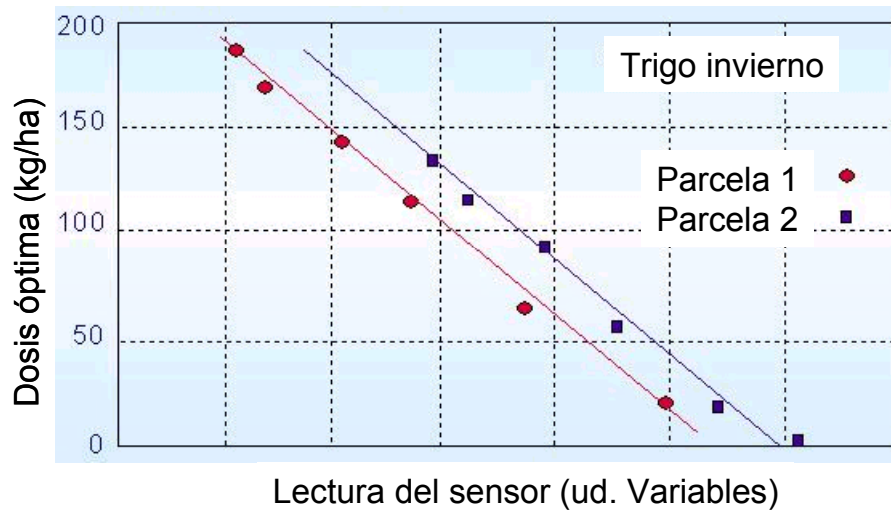
El diagnóstico del estado de la vegetación lo realizan cuatro sensores localizados dos a cada lado del tractor, cubriendo un área total de 50 m<sup>2</sup> (Fig. 2). Un quinto sensor se coloca en el centro y enfocado hacia arriba, de forma que mide la intensidad directa de la luz solar, para de este modo poder 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°.



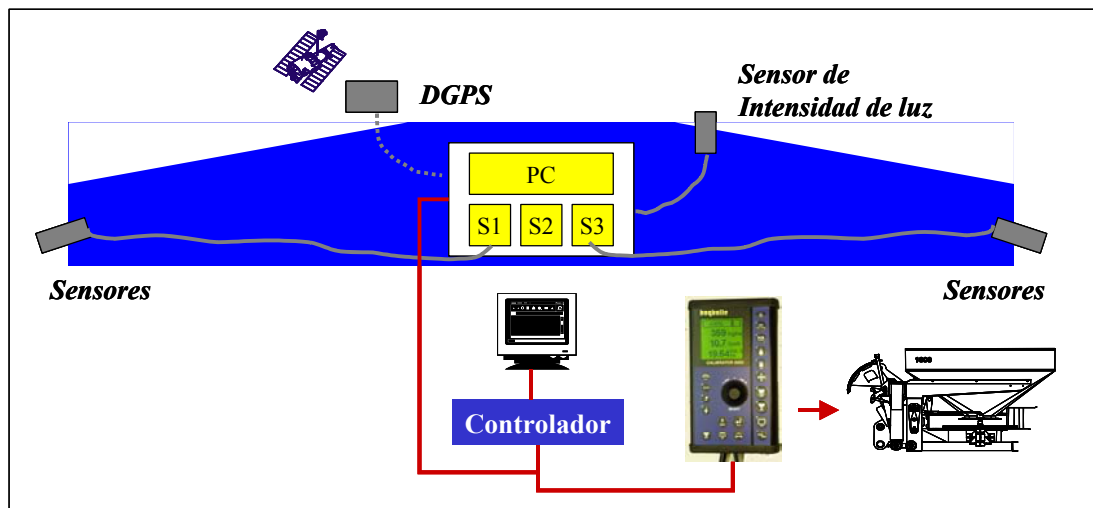
**Figura 2.** Esquema de ubicación del N-Sensor en la cabina del tractor y área de lectura de los sensores

La luz así reflejada, con una frecuencia de lectura de 1 segundo, se transmiten 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. 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 (Fig. 3) y la información enviada al controlador de la abonadora (Fig. 4).



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



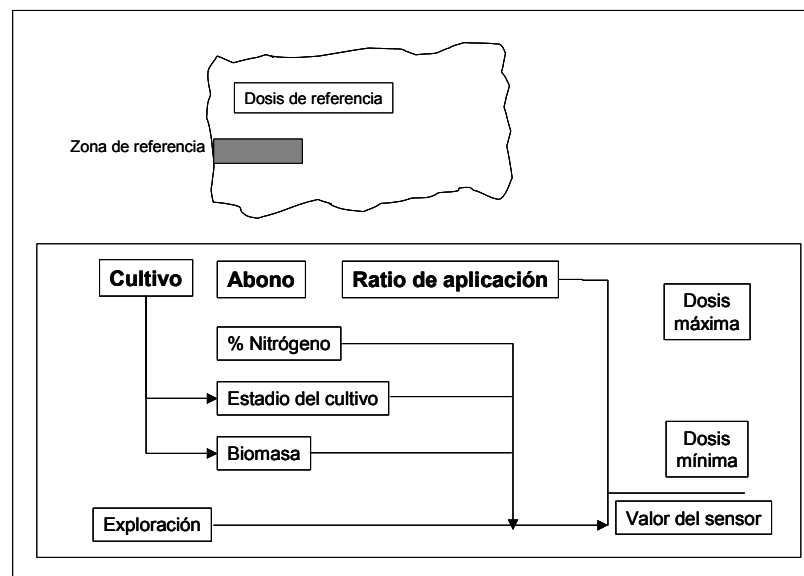
**Figura 4.** Esquema de funcionamiento y transmisión de la señal desde los sensores de luminosidad a la abonadora, pasando por la unidad central de procesamiento y el controlador electrónico del equipo.

### 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 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.

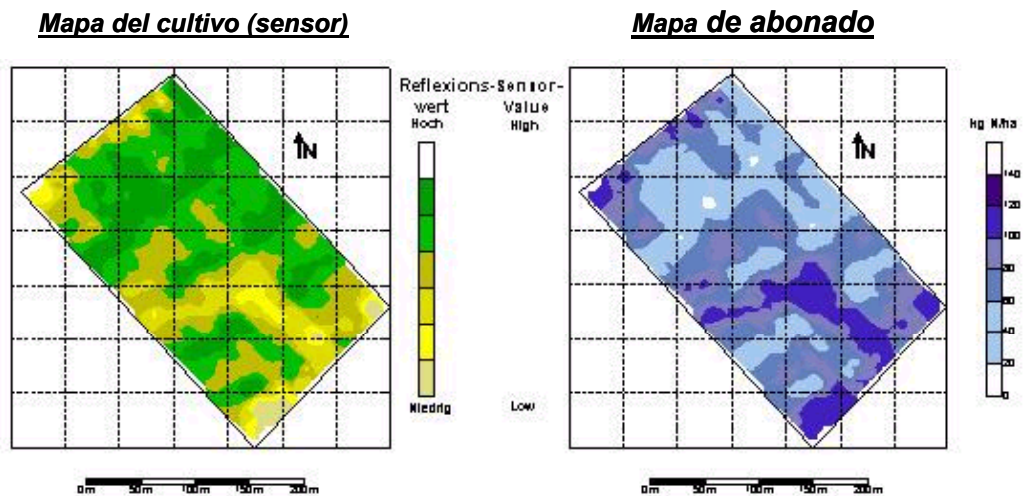
Con toda esta información (Fig. 5) el procesador central es capaz de transformar la lectura de la luz reflejada por el cultivo en cualquier zona de la parcela en cantidad de fertilizante a distribuir (kg/ha) y enviar ésta información al controlador de la abonadora para que este modifique las condiciones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



**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.

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 en N-Sensor se conecta a un receptor de señal dGPS puede elaborar, en tiempo real, el mapa de la vegetación, a partir de las lecturas de la radiación emitidas y, a partir de los datos transformados generar el mapa de aplicación nitrogenada ejecutado (Fig. 6). Es decir, la distribución de 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 y Bogballe, con la única condición de utilizar modelos provistos de sistemas de control electrónicos.



**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 este a su vez utilizable en posteriores campañas como sistema de información para una aplicación diferencial basada en antecedentes culturales.

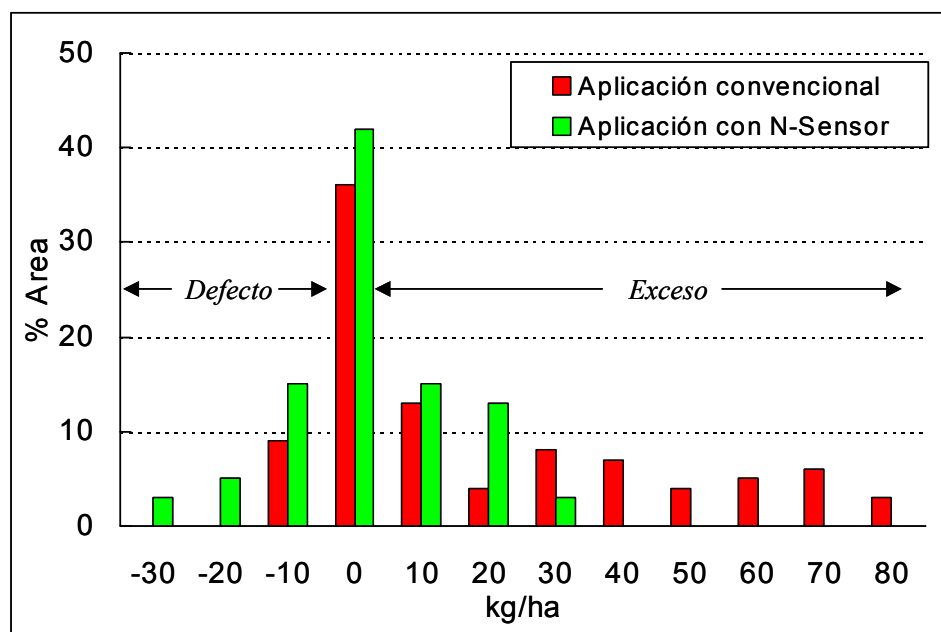
### **Algunos resultados**

Numerosas pruebas de campo se han desarrollado en diferentes países de la Comunidad 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 han 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 presenta una parte importante de la superficie que 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 el la unidad parcelaria, presenta notables diferencias en función de las condiciones 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 (Fig. 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 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.

**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.

### **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 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 1000 ha, 3 años para 750 ha, 4 años para 500 ha o 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 incremento 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 efecto 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 solo 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 sistema 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

**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 (x1000) 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.

Años	Superficie trabajada (ha/año)					
	1	100	200	500	750	1000
1	1.76	176	352	880	1320	1760
2	3.52	352	704	1760	2640	3520
3	5.28	528	1056	2640	3960	5280
4	7.04	704	1408	3520	5280	7040
5	8.80	880	1760	4400	6600	8800
6	10.56	1056	2112	5280	7920	10560
7	12.32	1232	2464	6160	9240	12320
8	14.08	1408	2816	7040	10560	14080
9	15.84	1584	3168	7920	11880	15840
10	17.60	1760	3520	8800	13200	17600

Por otra parte, y dadas las características de funcionamiento del sistema, cabe pensar asimismo en la posibilidad de utilización del N-Sensor acoplado a equipos para tratamientos fitosanitarios de forma que, tras el proceso necesario de calibración, quede establecida la relación entre intensidad luminosa reflejada y nivel de ataque de una determinada plaga o enfermedad, con la consiguiente modificación de la cantidad de caldo a distribuir.

## **Conclusiones**

En líneas generales, el N-Sensor permite la incorporación de la agricultura de precisión de una forma mucho más simple y extensa de lo hasta ahora conocido. La simplicidad, facilidad de utilización y adaptación a diferentes marcas de abonadoras hacen que resulte una herramienta



con posibilidades inmediatas de incorporación a la mayoría de las explotaciones, sin necesidad de dotarlas con sofisticados elementos de comunicación y transmisión de datos complementarios.

Las ventajas contrastadas del N-Sensor pueden resumirse en:

- *Incremento del margen bruto por hectárea*: la variabilidad en la aplicación de nitrógeno en función de los requerimientos específicos del cultivo permite la dosificación óptima de las necesidades de UF, con el consiguiente incremento del rendimiento.
- *Análisis y aplicación “en tiempo real”*: permite la adquisición de datos, el análisis de los mismos y la respuesta de forma inmediata.
- *Incremento de la cantidad y la calidad de la cosecha*: aplicando la dosis óptima de nitrógeno se producen incrementos no solo de la cantidad total sino también de la calidad del producto.
- *Utilización independiente o en conjunción con dGPS*: gracias al sistema de toma de datos, interpretación y respuesta inmediata, el N-Sensor puede trabajar sin necesidad de señal dGPS. Sin embargo, la conexión a un sistema de posicionamiento global permite la generación de mapas de cultivo y mapas de fertilización nitrogenada, útiles para campañas posteriores.
- *Incremento de la eficiencia en el uso del nitrógeno*: aplicando la dosis exacta se mejora la eficiencia y los resultados económicos, así como se minimizan los efectos ambientales.

Sin embargo, existen algunos inconvenientes a tener en cuenta:

- *Coste*: el elevado coste de adquisición dificulta la amortización en el caso de explotaciones individuales, siendo necesaria una elevada superficie anual de trabajo.
- *Limitación de cultivos*: la necesidad de detectar presencia de vegetación para la obtención de la información hace difícil su adaptación a cultivos en hileras, dada la elevada proporción de suelo desnudo.
- *Anchura de trabajo*: a pesar de la amplia superficie de lectura de los sensores (50 m<sup>2</sup>) la dosificación se realiza teniendo en cuenta la anchura de trabajo de la máquina, siendo este valor superior a la zona de lectura

En definitiva, es evidente que las ventajas que a medio y largo plazo puede generar la utilización de este tipo de tecnologías en la agricultura hace que nos encontremos ante algo más que inventos novedosos de difícil aplicación. Sin embargo, no debemos olvidar la situación actual del parque de maquinaria en la mayoría de las explotaciones y, sobre todo, el escaso aunque afortunadamente cada vez mayor hábito de regulación de los equipos para cada una de las condiciones específicas de trabajo.

## **Referencias**

**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.

