

Optimización de la fertilización nitrogenada mediante el



Uso de medidores de clorofilas

BERTA LASA, IOSU IRAÑETA, ARTURO SEGURA, ALBERTO LAFARGA
(Área de Extensivos Instituto Técnico y de Gestión Agrícola)

LUIS MIGUEL ARREGUI, EDURNE BAROJA, IKER MAEZTU
(Dpto. Producción Agraria. Universidad Pública de Navarra)

MIGUEL QUEMADA
(Dpto. de Producción Vegetal-Fitotecnia. Universidad Politécnica de Madrid)

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.

No obstante, a los agricultores les interesa conocer con exactitud el estado del cultivo mediante otros métodos más precisos que el visual, a fin de poder corregir a tiempo los posibles déficits nutricionales de las plantas. Por lo tanto, dentro de las posibles estrategias a utilizar en el manejo de la fertilización nitrogenada se presentan los equipos de medición de clorofilas como unos instrumentos interesantes para lograr esa precisión deseada. El ITG Agrícola planteó en su día unos estudios para determinar el grado de fiabilidad e interés práctico de estos medidores, en colaboración con la Universidad Pública de Navarra. Se han analizado 24 ensayos en 6 campañas diferentes, desde 1997. Se ha evaluado el papel de los medidores de clorofila en tres aspectos:

- Capacidad de identificar parcelas en las que un aporte de Nitrógeno (N) tardío incrementaría la producción.

- Capacidad para decidir si un aporte suplementario podría incrementar la concentración de proteína en grano.
- Capacidad de predecir la producción y contenido de proteína en grano para realizar separación de partidas.

Los resultados que se presentan en este artículo se centran en estudios realizados sobre parcelas de cultivo de Navarra, en variedades de trigo Soissons y Marius en zonas húmedas de secano, donde el rango de precipitaciones osciló entre 350 a 700 mm durante el periodo de cultivo. La elección del trigo en este estudio se basa en que se trata de un cultivo en el que la estrategia del fraccionamiento del aporte de N puede favorecer un incremento de la producción de grano, además de un incremento en el contenido de proteína en grano que en ocasiones es remunerado. Los ensayos se localizan en zonas húmedas, donde las probabilidades de precipitación resultan mayores que en otras zonas más secas y se garantiza que aportes tardíos de N, más allá de las coberturas recomendadas, puedan ser incorporados en el suelo con el agua de lluvia. Las conclusiones por tanto también podrían ser aplicadas a zonas de regadío.

medidores de clorofilas

> Cómo funcionan

Los medidores de clorofilas más usados son el N-Tester (Hydro-Agri) 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 es procesado por el equipo para darnos un valor que es el que debemos interpretar. Este valor es diferente según se utilice un equipo u otro pero existen experimentos previos que los relacionan con una alta correlación.

$$\text{Lectura N-Tester} = 15,2 \times \text{Lectura de SPAD-} 123,6 \text{ (R}^2=0,98\text{)}$$



> Modo de utilización de los medidores



- 1.- Se realiza una calibración del equipo con la pinza de muestreo vacía.
- 2.- Se selecciona una planta y se coloca en la pinza la hoja inferior de la misma totalmente expandida, registrándose un pítdo. Así se deben realizar 30 medidas en distintas plantas.
- 3.- Tras los 30 muestreos, el equipo da un valor en una pantalla digital que es lo que llamaremos **lectura absoluta** del medidor de clorofilas.

Aunque los ensayos seleccionados para establecer pautas de uso de los medidores de clorofilas se limitan a unas zonas climáticas y a un cultivo (trigo) en concreto, la variabilidad de resultados es alta y únicamente se consigue conclusiones satisfactorias cuando se analizan datos procedentes de muchos ensayos. En este caso se analizaron datos de 24 ensayos situados en localidades diferentes correspondientes a 6 campañas comprendidas entre 1997-2003.

La variabilidad de las campañas produce una variación en los rendimientos en las parcelas tratadas con distintas dosis de N. Esta variabilidad se palia en gran medida trabajando con valores relativos de producción donde se asigna un valor de 100 al rendimiento máximo en un ensayo determinado y el resto de tratamientos se expresa como porcentaje de ese máximo. Según se observa en el ejemplo (Tabla 1), para una misma dosis la variación entre rendimientos relativos en distintas campañas es menor que entre rendimientos absolutos.

Los valores de rendimiento relativo entre 90 y 100 podríamos considerarlos como techo productivo, mientras que valores inferiores estarían indicando rendimientos menores del potencial de esa parcela para las condiciones de una campaña determinada.

TABLA 1.

Ejemplo de rendimiento absoluto y relativo de dos campañas

| Dosis N | campaña 2001 | | campaña 2003 | |
|---------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| | Rendimiento absoluto | Rendimiento relativo | Rendimiento absoluto | Rendimiento relativo |
| 0 | 2.800 | 62 | 4.000 | 66 |
| 40 | 3.200 | 71 | 4.850 | 80 |
| 80 | 3.800 | 84 | 5.300 | 88 |
| 120 | 4.200 | 93 | 5.900 | 98 |
| 160 | 4.500 | 100 | 6.000 | 99 |
| 200 | 4.450 | 99 | 6.050 | 100 |

Por otra parte, el verdor de las hojas y por tanto la lectura de los medidores de clorofilas puede verse afectado, aparte de por una falta de N, por las diferencias genéticas de las variedades, por un estrés hídrico y por el estado de crecimiento del cultivo. Se recomienda el uso de valores relativos cuando trabajemos con variedades diferentes de las ensayadas o queramos comparar distintas campañas. Esto implica tener en las parcelas una zona de pequeño tamaño sobrefertilizada que presentará el máximo verdor, y actuará como referencia, de modo que la lectura de la parcela en comparación con la microparcela sobrefertilizada nos indicaría el estado nitrogenado del cultivo (Figura 1).



Ensayo de fertilización.

FIGURA 1.

Esquema de una parcela para realizar lecturas relativas.



Los resultados y conclusiones que se presentan en este artículo en ocasiones se refieren a lecturas de N-Tester absolutas y en otras a lecturas de N-Tester relativos. **Cuando nos referimos a valores absolutos serán aplicables únicamente a la variedad de trigo cv. Soissons**, de la cual se dispone de un lote de datos más amplio para realizar el análisis estadístico más fiable. **Cuando se comenten resultados de valores de N-Tester relativos, las conclusiones son aplicables para ambas variedades de trigo, Soissons y Marius.**

> Objetivos del estudio realizado







Objetivo 1: Capacidad de identificar parcelas en las que un aporte de N tardío incrementaría la producción.

La identificación de parcelas deficitarias en N depende del estadio fenológico en el que se realice la lectura de N-Tester. Las coberturas habituales en la zona se realizan entre Z-21 y Z-30, de modo que si se realiza una lectura con un medidor de clorofilas en estadios tempranos (p.e Z-31), al equipo le será difícil discriminar entre un tratamiento deficitario y uno que no lo es, puesto que el N se encuentra en el suelo sin absorber, sin embargo finalmente dará diferencias en producción. Nuestros resultados muestran que la capacidad de estos equipos para determinar qué parcelas pueden necesitar un aporte extra de N para alcanzar rendimientos máximos, se incrementa cuanto más tarde se realice la medida (Z-31 < Z-32 < Z-37 < Z-45 < Z-55 < Z-65) (Figura 2). Sin embargo, a medida que avanza el cultivo, las probabilidades de eficiencia del aporte tardío son menores, debido a menor probabilidad de lluvia.

El momento óptimo de lectura para identificar, mediante un medidor de clorofilas, parcelas deficitarias de Nitrógeno es el estadio Z-37, inicio de hoja bandera, ya que estadísticamente predice el estado nutricional de la planta satisfactoriamente.

FIGURA 2.

Estadios fenológicos en los que se han ensayado los medidores de clorofilas.

| | | |
|---|--|--|
| <p>Z-31 primer nudo</p>  | <p>Z-32 segundo nudo</p>  | <p>Z-37 inicio de hoja bandera</p>  |
| <p>Z-45 zurrón</p>  | <p>Z-55 la mitad de la inflorescencia emergida</p>  | <p>Z-65 floración</p>  |

Los resultados obtenidos muestran que si en el estadio de inicio de hoja bandera se dan valores de N-Tester menores de 580, el aporte de N proporcionaría, con una alta probabilidad, un rendimiento máximo en esa parcela para esa campaña y si no se aporta la probabilidad de no alcanzar ese techo productivo es alta.

Si disponemos de una microparcela sobrefertilizada a la cual asignamos un valor de 100 en la lectura obtenida con los medidores de clorofilas, valores relativos respecto a los valores de la microparcela sobrefertilizada inferiores a 87% estarían indicando un déficit de nitrógeno, de modo que con un aporte de N en ese momento se alcanzaría el techo productivo para esa parcela en las condiciones de esa campaña con una alta probabilidad.

Cuando las lecturas obtenidas por los medidores de clorofilas nos hacen tomar la decisión de un aporte tardío de N para incrementar nuestra producción, ¿qué cantidad aportaremos? No más de un 20% de la dosis de N recomendada para la zona climática en la que nos encontramos. En unidades fertilizantes estaríamos hablando de entre 30 y 40 UF de N por hectárea.

*La estrategia práctica propuesta a seguir en la fertilización nitrogenada del trigo blando en secanos frescos y regadíos, sería la de **retener 30-40 UFN del total del N previsto para el cultivo y realizar la lectura con los medidores de clorofilas en el estadio de inicio de hoja bandera para verificar si es necesario o no aportar esas 30-40 UFN.***

Objetivo 2: Capacidad para decidir si un aporte suplementario podría incrementar la concentración de proteína en grano del trigo.

La producción de trigos de calidad puede ser una estrategia interesante para acceder a nichos de mercado con sobrepuestos que mejoren la rentabilidad del cultivo. Desde el punto de vista de la calidad panadera, uno de los atributos más importantes a tener en cuenta es el contenido de proteínas del grano. La variedad o cultivar y el manejo de la nutrición nitrogenada del cultivo son responsables de variaciones en parámetros de rendimiento y calidad, de modo que mientras que la genética (variedad) afecta a la calidad de las proteínas en grano, el manejo de la fertilización nitrogenada afecta tanto al rendimiento como a la cantidad de proteína en grano. **Está demostrado que aportes tardíos de fertilizantes nitrogenados pueden incrementar el contenido de proteína en grano,** siempre que estos aportes vayan acompañados de precipitaciones que faciliten la absorción y translocación del N aportado. En el mercado europeo, el contenido de proteína se valora económicamente a partir del 13%.



Las lecturas obtenidas por los medidores de clorofilas nos ayudan a tomar la decisión de hacer un aporte tardío de N para incrementar nuestra producción

En este estudio se ha tratado de verificar en qué estadio se deberían realizar lecturas con los medidores de clorofilas, y cual sería el valor determinante para detectar situaciones en las cuales deberíamos aportar una dosis tardía de N para obtener incrementos de proteína. Las conclusiones que se han derivado del estudio resultan aplicables a la variedad **Soissons** que es la variedad de la que se dispone de mayor cantidad de datos. Además es un trigo de fuerza media en el cual se valora su calidad panadera por el contenido de proteína en grano.

Los resultados obtenidos muestran que los estadios de lectura más fiables para determinar si un aporte de N mejoraría el contenido de proteína en grano deberían ser Z-45 (zurrón) o estadios posteriores Z-55 (mitad de inflorescencia emergida) o Z-65 (floración).

*Los análisis estadísticos concluyen que, con una alta probabilidad, **cuando las lecturas N-Tester tomadas en esos estadios sean menores de 600, la proteína en grano va a ser menor del 12%, de modo que si queremos incrementarla deberíamos realizar un aporte de N.** Si presenta una lectura mayor de 700, con una alta probabilidad el contenido de proteína en grano será mayor de 14,8% y no hará falta un aporte de N para incrementarla.*

Las lecturas con N-Tester entre 600 y 700 nos ofrecen una variabilidad de respuestas respecto al contenido de proteína en grano que no permite el realizar una recomendación acertada.

Es necesario destacar que, debido a que la estrategia para el incremento de proteína en grano conlleva la lectura con los medidores de clorofilas en estadios avanzados del cultivo, ésta será eficaz en lugares donde la probabilidad de precipitaciones sea alta durante el periodo de llenado de grano o en condiciones de regadío.

Objetivo 3: Capacidad de predecir la producción y contenido de proteína en grano para realizar separación de lotes.

En este caso se trata de predecir, mediante la utilización de medidores de clorofila, la producción de una parcela determinada y su contenido de proteína en grano con el fin de organizar lotes en la cosecha. Como la finalidad de este objetivo no es la corrección de esos parámetros y la fiabilidad de la lectura resulta mayor en estadíos tardíos, la recomendación de lectura para cumplir este objetivo es el estadío Z-55 (mitad de inflorescencia emergida) y Z-65 (floración).

Para predecir el rendimiento que se va a obtener en una parcela con el fin de organizar partidas de cosecha, lecturas absolutas de N-Tester superiores a 590 en Z-55 y 546 en Z-65 o lecturas relativas frente a una microparcela sobrefertilizada de 87% en Z-55 y 81% en Z-65, indicarían que el rendimiento va a alcanzar el máximo potencial productivo en esa parcela para esa campaña climática. Para valores inferiores a los dados, se aplicaría las ecuaciones de la tabla 2, de modo que se deduciría el porcentaje de rendimiento que se va a obtener respecto al potencial o techo productivo de la parcela para esa campaña.

El estudio estadístico realizado para la utilización de los medidores de clorofilas con el fin de prede-

cir el contenido en proteína en grano que va generar la cosecha de una parcela nos muestra que si la lectura es menor de 600 en los estadíos de Z-55 y Z-65, el contenido de proteína en grano será inferior al 12% y si es mayor de 700 resultará superior al 14,6% (datos válidos para cv. Soissons). Con lecturas comprendidas entre 600 y 700 no es posible predecir el contenido de proteína final de grano (Tabla 3).

Conclusiones

La posibilidad de detectar deficiencias de nitrógeno en una parcela de trigo 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. Sin embargo, es necesario tener presente que el resultado final, tanto de las correcciones de producción como de contenido de proteína en grano, vía aporte tardío de nitrógeno va a depender de las precipitaciones que se registren al final del periodo de cultivo o la posibilidad de regar en esos momentos.

Teniendo en cuenta que la propia campaña climática va a condicionar la eficiencia de los aportes tardíos de N y el rendimiento del cultivo, **mediante el uso de estos equipos podremos:**

- **evitar aportaciones innecesarias** de N en tercera cobertera.
- **valorar el estado nutricional del cultivo en N** de forma que nos permita decidir si conviene o no un aporte tardío, tanto para corregir una deficiencia del cultivo y mejorar su producción como para incrementar el contenido en proteína del grano.

TABLA 2.

Esquema a seguir para estimar la producción que se va a obtener para la organización de la cosecha.

| Estadío fenológico de lectura | Lecturas absolutas de N-Tester críticas | Lecturas relativas de N-Tester críticas | Ecuación a aplicar para obtener el % de rendimiento que se va a obtener respecto al techo productivo |
|-------------------------------|---|---|--|
| Z-55 | 590 | 87% | $y = -0,0006 \cdot x^2 - 0,8431 \cdot x - 179,5$ |
| Z-65 | 546 | 81% | $y = -0,0002 \cdot x^2 - 0,3372 \cdot x - 28,102$ |

x = Lectura de N-Tester absoluta.

y = % Rendimiento que se obtiene respecto al máximo que se puede obtener en esa campaña.

TABLA 3.

Esquema a seguir para estimar el contenido de proteína en grano para la organización de lotes de cosecha.

Datos válidos para trigo cv. Soissons.

| Estadío fenológico de lectura | Lecturas absolutas de N-Tester críticas | Contenido de proteína en grano |
|-------------------------------|---|--------------------------------|
| Z-55 y Z-65 | menor de 600 | menor de 12% |
| | mayor de 700 | mayor de 14,6% |

Proyectos de investigación

Los resultados presentados se han obtenido de los estudios realizados con la financiación de dos proyectos de investigación:

Proyecto: Desarrollo de modelos de ayuda a la decisión en el uso del nitrógeno como fertilizante de los cereales desde criterios de productividad y calidad, evitando la contaminación nitríca de las aguas freáticas y superficiales.

Entidad colaboradora: CICYT-Fondos FEDER 2FD97-2425-C06-01
Duración: 1999-2000

Proyecto: Desarrollo de un sistema de soporte a la decisión para el uso de la fertilización nitrogenada en trigo, cebada y maíz.

Entidad colaboradora: CICYT AGL2001-2214-C06-01
Duración: 2000-2003



AGRADECIMIENTOS:

Agradecemos la valiosa aportación en la realización de este trabajo al grupo de trabajadores de la sede de Tafalla del ITG Agrícola, Pedro M. Garnica, Paco Flamarique, Julio Zubiri y Javier Muro.