

USO DE MEDIDORES DE CLOROFILA COMO HERRAMIENTA PARA OPTIMIZAR EL USO DE FERTILIZANTES NITROGENADOS EN EL CULTIVO DE MAÍZ (*Zea mays L.*): REPORTE DE CASO

Willian A. Ochoa Medina, *Ing. Agrónomo*
Instructor, Centro de Formación Agroindustrial La Angostura
wochoam@sena.edu.co

Resumen: El nitrógeno (N) está dentro de los elementos que las plantas requieren en mayores cantidades, lo que ha llevado a que sea uno de los insumos agrícolas más utilizados a nivel mundial. La eficiencia en la utilización de este nutriente es baja, no siendo superior al 50 %. Lo anterior ocasiona no solamente bajos rendimientos en el cultivo, sino también problemas de contaminación.

Existen diferentes estrategias para tratar de mejorar la eficiencia en la utilización del N aplicables a distintos cultivos, entre ellos el maíz. Bajo los conceptos de la agricultura de precisión, el uso de medidores de clorofila se convierte en una herramienta a tener en cuenta cuando se quieren definir criterios rápidos al momento de monitorear carencias de N o para determinar la efectividad de una fertilización nitrogenada.

En las instalaciones del centro de Formación la Angostura se llevó a cabo un trabajo para determinar el efecto de la implementación del medidor de clorofila CCM 200 (Apogee Instruments) para el manejo de la fertilización nitrogenada en el cultivo de maíz. Para determinar el índice de concentración de clorofila en plantas de maíz fertilizadas con distintos niveles de fertilización nitrogenada, se establecieron cinco (5) parcelas con dosis diferentes de nitrógeno. El criterio para definir las dosis de fertilización nitrogenada fue de acuerdo a lo que se recomendaría con el análisis de suelos. De acuerdo a lo anterior, se establecieron parcelas con 0, 50, 100, 150 y 200 % del nitrógeno que se recomendó de acuerdo al análisis de suelos.

En el trabajo se presentan los resultados preliminares con respecto al índice de clorofila que presentan las plantas cuando se les adiciona nitrógeno en distintos niveles, de tal manera que se pudiera definir, de acuerdo con las lecturas del medidor de clorofila CCM 200, cuándo las plantas tienen adecuada o inadecuada suficiencia de nitrógeno.

Palabras claves: Medidores de clorofila, nitrógeno, fertilización, agricultura de precisión.

USE OF CHLOROPHYLL METER AS A TOOL FOR OPTIMIZING THE USE OF NITROGEN FERTILIZERS IN MAIZE (*Zea mays L.*): CASE REPORT

Abstract: Nitrogen (N) is one of the elements required by plants in large amounts, which has led to it being one of the most common farm inputs used worldwide. The efficient use of this nutrient is low, it being not greater than 50 %. This causes not only low yields in farming, but also pollution problems.

There are different strategies to try to improve the utilization efficiency of N applied to different crops, including corn. Under the concepts of precision agriculture, the use of chlorophyll meters becomes a tool to consider when criteria must be established to monitor N deficiencies or to determine the effectiveness of nitrogen fertilization.

At the training center Angostura an effort was made to determine the effect of implementing the use of CCM 200 chlorophyll meter (Apogee Instruments) to manage nitrogen fertilization in the farming of corn.

To determine the rate of chlorophyll concentration in maize plants fertilized with different levels of nitrogen fertilization, five (5) plots with different nitrogen rates were established. The criterion to define the dose of nitrogen fertilization was based on what would be recommended in soil analysis. According to the above, sites with 0, 50, 100, 150 and 200 % of the recommended nitrogen according to soil analysis were established.

The preliminary results of the research are submitted regarding the index of chlorophyll present in plants when nitrogen is added at different levels, so as to define when plants have adequate or inadequate nitrogen sufficiency, based on readings from the CCM 200 chlorophyll meter.

Key words: Chlorophyll meter, nitrogen, fertilization, precision agriculture.

Introducción

El nitrógeno (N) está dentro de los elementos que las plantas requieren en mayores cantidades, lo que ha llevado a que sea uno de los insumos agrícolas más utilizados a nivel mundial. La dinámica de este tipo de fertilizantes ha mostrado que la eficiencia en su uso no sobrepasa el 50 %, debido a procesos de pérdidas por lixiviación, desnitrificación, erosión y escorrentía. Por otra parte, las anteriores pérdidas conllevan a problemas de contaminación ambiental, principalmente la contaminación de las aguas superficiales y profundas por nitrógeno en forma de nitratos (Piekielek, Lingenfelter, Beegle y Fox, 2014).

La respuesta del cultivo de maíz (*Zea mays L.*) frente a la aplicación de nitrógeno está bien documentada; por ejemplo, en Colombia cuando se aplica este nutriente, la producción puede alcanzar hasta 7 t/ha de grano (García y Espinosa, 2010). Lo anterior supone que para alcanzar altos rendimientos en el cultivo de maíz, se requiere manejar eficientemente el suministro de este elemento, tanto en cantidad como en las épocas en las cuales el cultivo lo requiere en mayores cantidades.

Se han definido distintas estrategias para mejorar la eficiencia en la utilización del N aplicables a distintos cultivos, entre ellos el maíz. Una de ellas, es el ajuste

de las cantidades aplicadas con base en estimaciones precisas de las necesidades del cultivo, por ejemplo, el uso de técnicas de agricultura de precisión y uso de técnicas de diagnóstico apropiadas y evaluadas localmente (Ramírez Builles, Moreno Berrocal y López Ruiz, 2013).

Distintos estudios indican que existe una relación directa entre el nitrógeno foliar y el contenido de clorofila. Autores como Sainz Rozas y Echeverría (1998) realizaron un estudio para determinar la relación existente entre las lecturas de un clorofilómetro y el rendimiento del maíz en distintos momentos del ciclo del mismo. Los anteriores autores concluyen que el uso del clorofilómetro constituye una herramienta apropiada para el monitoreo de la disponibilidad del N.

Al determinar el contenido de clorofila en las hojas de las plantas de maíz fertilizadas con dosis diferentes de N (100 y 200 kg/ha), los autores Rincón y Ligarreto (2010) encontraron que cuando a las plantas se les suministró la mayor cantidad de N, los valores obtenidos con el clorofilómetro fueron más altos; sin embargo, la producción fue estadísticamente igual con los dos niveles de fertilización. A pesar de que el valor obtenido con el clorofilómetro fue distinto para cada nivel de fertilización, los valores se encuentran dentro de los considerados como necesarios para alcanzar el 95 % del rendimiento máximo.

La detección temprana de la deficiencia de elementos nutritivos para la planta sería una condición ideal en el manejo de la nutrición de las plantas, ya que permitiría realizar correcciones antes de que la planta mostrara síntomas de deficiencia del elemento faltante y, por consiguiente, evitaría que el rendimiento pudiera verse afectado. En un estudio realizado en café (Ramírez, Moreno y López, 2012), se encontró una correlación directa entre las lecturas relativas de clorofila obtenidas con un medidor de clorofila y los valores determinados en el laboratorio, tanto de clorofila como de N foliar. Lo anterior les permitió a los autores, proponer el uso de

este tipo de medidores de clorofila como una herramienta para la detección temprana de deficiencia de N en café, indicando los valores a tener en cuenta cuando se use el mismo equipo.

Si bien en la literatura especializada se encuentran resultados que alientan el uso de los medidores de clorofila para definir criterios rápidos al momento de monitorear carencias de N o para determinar la efectividad de una fertilización nitrogenada, para su uso práctico primero se deben calibrar bajo las condiciones locales en las cuales se van a utilizar. En este estudio de caso se presentan los resultados preliminares obtenidos en la implementación del uso del medidor de clorofila CCM 200 (Apogee Instruments) para el manejo de la fertilización nitrogenada en el cultivo de maíz.

Metodología

El presente trabajo se realizó en el Centro de Formación Agroindustrial La Angostura ubicado en el municipio de Campoalegre, departamento del Huila. Se utilizó la variedad de maíz amarillo ICA V 109.

Para determinar el índice de concentración de clorofila en plantas de maíz fertilizadas con distintos niveles de fertilización nitrogenada, se establecieron cinco (5) parcelas con dosis diferentes de nitrógeno. El criterio para definir las dosis de fertilización nitrogenada fue de acuerdo a lo que se recomendaría con el análisis de suelos. De esta manera, las parcelas fueron:

Parcela N0: Sin aporte de N.

Parcela N50: Se aportó el 50 % del N que se recomendó de acuerdo al análisis de suelos.

Parcela N100: Se aportó el 100 % del N que se recomendó de acuerdo al análisis de suelos.

Parcela N150: Se aportó el 150 % del N que se recomendó de acuerdo al análisis de suelos.

Parcela N200: Se aportó el 200 % del N que se recomendó de acuerdo al análisis de suelos.

Plan de fertilización: Teniendo en cuenta los resultados del análisis de suelos del lote, la cantidad de nutrientes (nitrógeno, fósforo y potasio) que se aportaron en kilogramos por hectárea fueron:

Nitrógeno (**N**): 180 kg

Fósforo (**P₂O₅**): 60 kg.

Potasio (**K₂O**): 80 kg.

El anterior plan fue la base para definir las dosis diferenciales de fertilización nitrogenada estipuladas para cada una de las parcelas, el cual se presenta en la Tabla 1.

Tabla 1: Plan de fertilización. Cantidad de nutrientes puros (N, P₂O₅ y K₂O) aportados en cada una de las parcelas.

Parcela	Cantidad de nutrientes (kg/ha)		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
N0	0	60	80
N50	90	60	80
N100	180	60	80
N150	270	60	80
N200	360	60	80

Las fuentes utilizadas fueron urea (fuente de nitrógeno), MicroEssentials (fuente de fósforo y nitrógeno) y cloruro de potasio (fuente de potasio).

El anterior plan de fertilización fue aplicado de acuerdo al fraccionamiento indicado en la Tabla 2.

Tabla 2 Plan de fraccionamiento de la fertilización. Se indica la etapa fisiológica y la proporción de aplicación de los nutrientes.

ÉPOCA	Porcentaje del nutriente		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Siembra	0	100 %	50 %
V6	50 %	0	50 %
V10	50 %	0	0

Para la fertilización en la siembra, se utilizó una sembradora – abonadora. Las épocas V6 y V10 corresponden a los estados en los cuales la planta presenta las hojas 6 y 12, respectivamente.

Área de la parcela: Cada parcela tuvo un área de 28 m², en las cuales el maíz se sembró a una distancia entre surcos de 80 cm y 20 cm entre plantas. De esta manera, en cada una de las parcelas se establecieron 6 surcos. Las dosis de fertilizantes fueron equivalentes para dichas áreas.

En el mercado no se encuentra un producto fertilizante para aplicación edáfica que contenga solamente fósforo; para el caso del presente ejercicio se utilizó el fertilizante MicroEssentials, el cual, además de fosforo, contiene 12 % de nitrógeno. Por lo anterior, la parcela N0 realmente recibió 18 kg/ha de nitrógeno.

Épocas de medición: Se realizaron 6 tomas de datos con el medidor de clorofila marca Apogee Instruments CMM-200, en las siguientes fechas y etapas de desarrollo del cultivo:

Tabla 3: Épocas de toma de datos de clorofila. Se indican la fecha en las cuales se realizaron las fertilizaciones y las observaciones con el medidor de clorofila. V0, V6 y V9 indican las etapas fisiológicas en las cuales se realizó la fertilización.

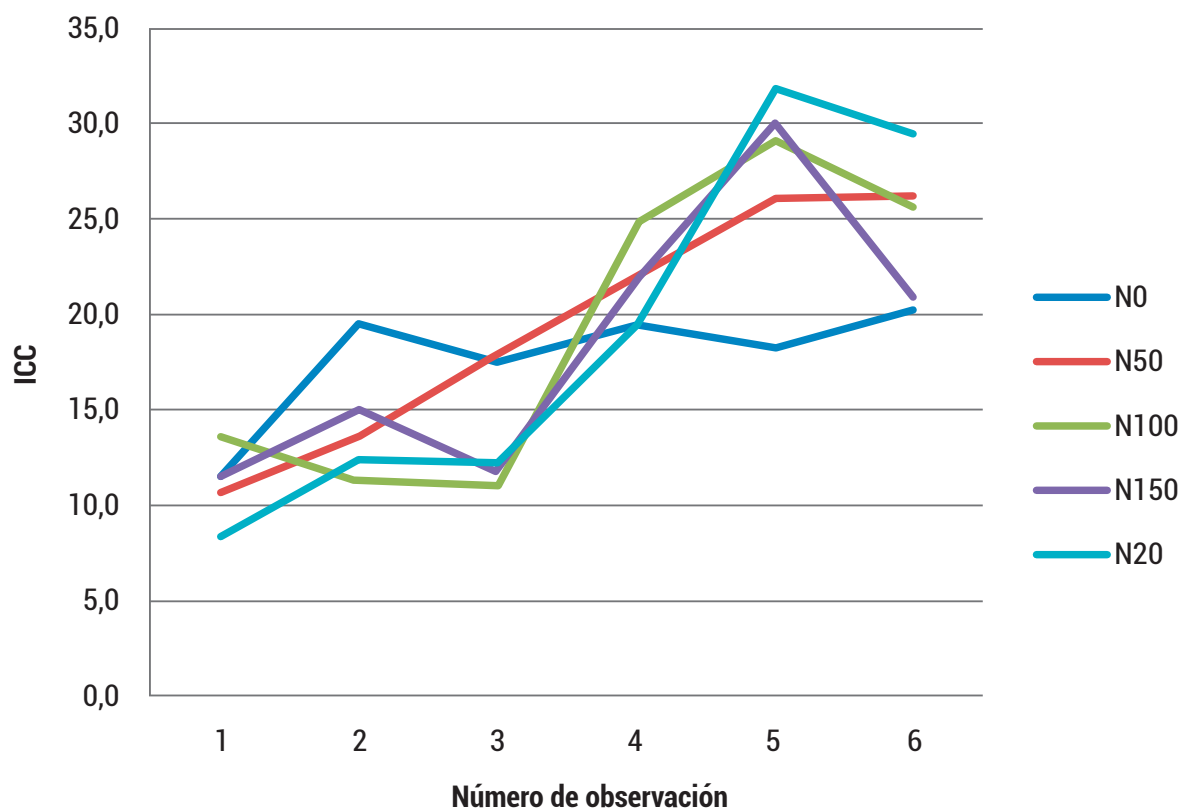
LABOR	FECHA	OBSERVACIÓN CLOROFILÓMETRO
Siembra y pre-abonada	marzo 20/14	
(V0)	abril 1/14	1ª observación
	abril 3/14	2ª observación
Segunda abonada	abril 4/14	
(V6)	abril 9/14	3ª observación
Tercera abonada	abril 25/14	4ª observación
(V9)	abril 30/14	5ª observación
	mayo 6/14	6ª observación

Equipo para determinación del Índice de Concentración de Clorofila (ICC): Para la determinación del ICC se utilizó un equipo marca Apogee Instruments CMM-200. Este equipo utiliza la absorbancia para estimar el contenido de clorofila en el tejido foliar. Dos longitudes de onda se emplean para determinar la absorbancia. Una longitud de onda está comprendida en el rango de absorción de clorofila, mientras que la otra sirve para compensar las diferencias debidas al grosor del tejido. El medidor mide la absorbancia de ambas longitudes de onda y calcula un ICC (Índice de Concentración de Clorofila), valor que es proporcional a la cantidad de clorofila de la muestra (Apogee).

Resultados

En la Figura 1 se observa la variación del Índice de Contenido de Clorofila entre las observaciones realizadas. En las primeras cuatro observaciones no hay relación con el N aportado a través de la fertilización, en la medida en que se hipotetiza que el valor de ICC se debería relacionar directamente con el nivel de fertilización nitrogenada. En la primera observación el valor más alto de ICC correspondió a la parcela N100; en la segunda, fue para la parcela N0; en la tercera observación, se encontró en N50, mientras que en la cuarta observación correspondió nuevamente para la parcela N100. Solamente en la quinta observación, los resultados muestran valores consistentes con la dosis de

Figura 1: Variación del Índice de Contenido de Clorofila entre observaciones. Se presenta el valor del Índice de Contenido de Clorofila (ICC) en cada una de las parcelas y en las distintas épocas de observación.



fertilización N, toda vez que el valor más alto de ICC fue para la parcela que recibió la mayor dosis de N (N200) y la menor para la parcela que menos N recibió (N0). En la sexta observación los resultados ya no muestran la relación con la dosis de N, dado que la parcela N150 presentó un ICC muy similar al de la parcela N0.

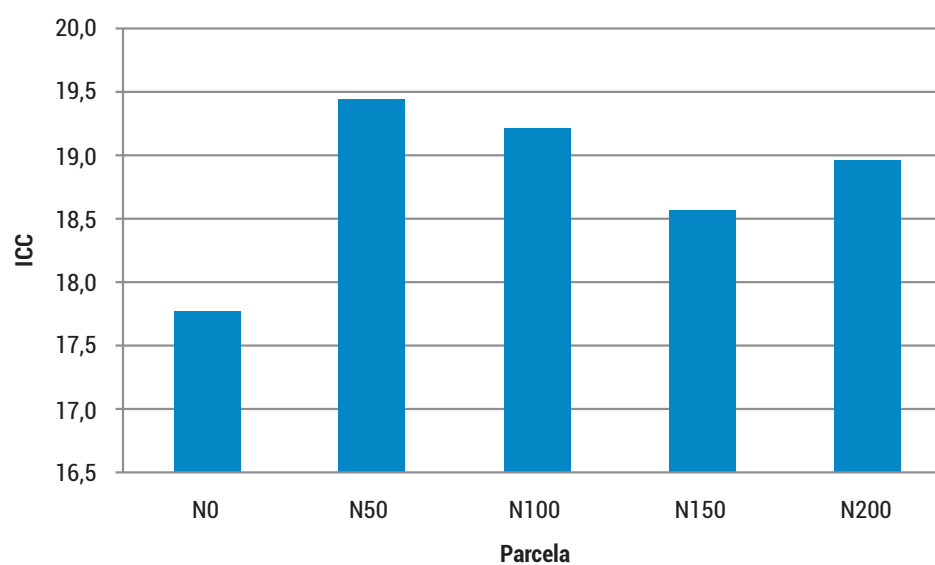
Estos resultados parecieran concordar con lo encontrado en otras investigaciones en las que se indica que el uso de medidores de clorofila como herramienta de monitoreo de la disponibilidad de N es apropiada en estadios avanzados del cultivo de maíz (Sainz y Echeverría, 1998; Rincón y Ligarreto, 2010), ya que en sus primeras etapas de desarrollo, el potencial del sistema fotosintético ya se encuentra convirtiendo la energía lumínica en energía química y el excedente de N se encuentra formando parte de otros compuestos de reserva (Argenta, Ferreira, Forsthofer y Strieder, 2001; Bullock y Anderson, 1998; Zotarelli et al., 2003). Si bien buena parte del N asimilado por la planta permite el establecimiento y mantenimiento de la capacidad fotosintética (es la base por la cual se utilizan los medidores de clorofila como indicadores del contenido de N en las plantas), otra parte de ese N es asimilado en otro tipo de estructuras de la planta, especialmente relacionadas con la etapa reproductiva.

En Colombia, dentro de un programa de manejo de la nutrición por sitio específico en el cultivo de maíz, propuesto por la Federación Nacional de Cultivadores de Cereales y de Leguminosas de Grano (Fenalce)

(García, s. f.), el N se debería suministrar en triple fraccionamiento en proporción 20-40-40 en las etapas fisiológicas V0-V6-V10 respectivamente. De acuerdo con lo observado en campo, el uso del medidor de clorofila como una herramienta que nos permita monitorear deficiencias tempranas de N o para determinar la efectividad de la fertilización N en el cultivo de maíz en las etapas fisiológicas consideradas anteriormente, probablemente sea adecuado después de la última abonada, y sus resultados podrían permitir tomar decisiones para el ajuste en la fertilización nitrogenada, posteriores a la última fertilización realizada en la etapa fisiológica V10.

Cuando se promedian las seis (6) observaciones realizadas en cada una de las parcelas, sin tener en cuenta las épocas de medición, se encuentra que el menor ICC se presenta en la parcela con menor aporte de N (N0); sin embargo en la parcelas con fertilización, este ICC no guarda ninguna relación con el nivel de fertilización. La parcela N50 presentó el ICC más alto, mientras que N150 presentó el menor valor dentro de las parcelas a las cuales se les suministró N (Figura 2).

Figura 2: Variación del Índice de Contenido de Clorofila entre las parcelas. Se presenta el valor promedio del Índice de Contenido de Clorofila (ICC) en cada una de las parcelas.



Estos resultados podrían indicar que tomar una medición con el clorofilómetro, sin tener en cuenta la etapa de desarrollo del cultivo, no nos daría una información confiable sobre el estado del N dentro de la planta. Probablemente el uso de este tipo de medidores de clorofila pueda darnos información sobre la asimilación de N después de la última fertilización y servir para ajustar la fertilización en etapas tardías del cultivo.

Bibliografía

- Apogee. (n.d.). "Chlorophyll content meter". *CMM-200 plus*.
- Argenta, G.; Ferreira, P.; Forsthofer, E.; & Strieder, M. (2001). "Relacao da leitura do clorofilometro como os teores de clorofila extraível e de nitrogenio na folha de milho". *Revista brasileira de fisiologia vegetal.*, 134 - 139.
- Bullock, D.; & Anderson, D. (1998). "Evaluation of the Minolta SPAD 502 chlorophyll meter for nitrogen management in corn". *Journal of Plant Nutrition.*, 741 - 755.
- García, J. P. (s. f.). *Manejo eficiente de nutrientes en el cultivo de maíz en Colombia*. Bogotá: Forteco.
- García, J. P.; & Espinosa, J. (2010, febrero - Abril). *Fenalce*. Recuperado de: http://fenalce.org/arch_public/tecnolog92.pdf
- Piekielek, W.; Lingenfelter, D.; Beegle, D.; & Fox, R. (s. f.). *Kosmos Scientific*. Recuperado de: <https://www.kosmos.com.mx/Clorofila-en-Maiz.354.0.html>
- Ramírez, V. H.; Moreno, A. M.; & López, J. C. (2012). "Evaluación temprana de la deficiencia del nitrógeno en café y aplicaciones". *Avances técnicos No 420. Cenicafé.*, 8.
- Rincón, A.; & Ligarreto, G. A. (2010). "Relación entre nitrógeno foliar y el contenido de clorofila, en maíz asociado con pastos en el piedemonte llanero colombiano". *Corpoica - Ciencia y tecnología agropecuaria.*, 7.
- Sainz, H.; & Echeverría, H. (1998). "Relación entre las lecturas del medidor de clorofila (Minolta SPAD 502) en distintos estadios del ciclo del cultivo de maíz y el rendimiento en grano". *Revista de la facultad de agronomía, La Plata*, 8.
- Zotarelli, L.; Garcia, C.; Piccinin, J.; Urquiaga, S.; Boddey, R.; Torres, E.; *et al.* (2003). "Calibração do medidor de clorofila Minolta SPAD 502 para avaliação do conteúdo de nitrogênio do milho". *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 1117-1122.