

## DIAGNÓSTICO E ÍNDICE PARA FERTILIZACIÓN NITROGENADA EN ETAPA VEGETATIVA DEL CULTIVO MAÍZ (*Zea mays* L.)\*

### Diagnosis and index for nitrogen fertilization in vegetative stage in corn (*Zea mays* L.) crop

Aymara Sánchez<sup>1</sup>, Rodolfo Delgado<sup>2</sup>, Javier Lorbes<sup>1</sup>, Vianel Rodríguez<sup>1</sup>, Luis Figueredo<sup>3</sup> y Carlos Gómez<sup>1</sup>

#### RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue establecer rangos de lecturas con el medidor portátil de clorofila SPAD (Soil Plant Analysis Development) para el diagnóstico y un índice para la determinación de la dosis de N para la fase de cinco a seis hojas totalmente desarrolladas del maíz. El estudio se realizó en la estación experimental del INIA, municipio Peña, estado Yaracuy, Venezuela. El primer año, se estableció un gradiente de N aplicando cuatro dosis crecientes desde 0 hasta 450 kg N ha<sup>-1</sup> en forma de Urea. Para el segundo año, se aplicaron seis dosis crecientes que variaron de 0 a 240 kg N ha<sup>-1</sup>, de acuerdo con un arreglo de tratamiento en parcelas divididas con tres repeticiones. Las dosis de N establecidas en el primer año correspondieron a las parcelas principales y las dosis de N aplicadas el segundo año a las subparcelas. Los datos se procesaron mediante análisis de varianza y de regresión. De acuerdo con rangos establecidos basados en la probabilidad de respuesta del cultivo a la fertilización nitrogenada y en el contenido de nitrógeno mineral, lecturas de SPAD menores de 50,4; 52,2 y 53,2 para las fases de cinco a seis, de 10 a 11 hojas totalmente desarrolladas y en floración, respectivamente pueden ser usados para detectar en campo deficiencias de N en el cultivo de maíz. Se propone índice para determinar la dosis de N en el reabono basado en la integración de la lectura SPAD y el contenido de N mineral en el suelo en periodo de cinco a seis hojas del cultivo.

**Palabras clave:** medidor portátil de clorofila, N mineral, dosis de N.

#### ABSTRACT

The objective of this research was to establish readings ranges with portable chlorophyll meter SPAD (Soil Plant Analysis Development) to diagnosis and an index to determining the N doses for phase five to six leaves corn fully developed. The study was conducted at the experimental station of INIA, Peña municipality, Yaracuy State, Venezuela. The first year, N gradient was established by using four increasing doses from 0-450 kg N ha<sup>-1</sup> as Urea. To second year, six increasing doses that varied from 0 to 240 kg N ha<sup>-1</sup> were applied, according to a treatment arrangement on three replications in split plots. N doses established in the first year corresponded to main plots and N doses applied in the second year to subplots. Data were processed by variance analysis and regression testing. According to established ranges based on probability of crop response to nitrogen fertilization and to mineral nitrogen content, SPAD readings below than 50.4, 52.2 and 53.2 for stages from five to six leaves, from 10 to 11 fully developed leaves and flowering, respectively, can be used to detect N deficiencies in the maize field. Index is proposed to determine N dose at side dressing based on the integration of SPAD reading and content of mineral N in the soil at five to six crop leaves.

**Keywords:** portable chlorophyll meter, mineral N, N doses.

(\*) Recibido: 13-02-2015

Aceptado: 17-07-2015

<sup>1</sup> Decanato de Agronomía, Universidad Centroccidental "Lisandro Alvarado" UCLA Departamento de Química y Suelos, Cabudare-Lara. Venezuela. Apartado postal 400. [aymaras@ucla.edu.ve](mailto:aymaras@ucla.edu.ve).

<sup>2</sup> Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA-CENIAP). Apdo. 4653 Maracay 2101, Edo. Aragua. Venezuela. [rdelgado@inia.gob.ve](mailto:rdelgado@inia.gob.ve)

<sup>3</sup> INIA. Estación Experimental Local Yaritagua, Apdo. 3201. Yaritagua, Edo. Yaracuy. Venezuela. [lfigueredo@inia.gob.ve](mailto:lfigueredo@inia.gob.ve)

## INTRODUCCIÓN

El maíz es un cultivo que requiere adecuado suministro de nitrógeno desde las primeras etapas de crecimiento. El conocimiento de la dinámica de acumulación del elemento por el cultivo es importante para el manejo de la fertilización nitrogenada, ya que permite determinar dosis y épocas más adecuadas para su aplicación, que garanticen, enmarcado en el desarrollo de una agricultura sustentable, una eficiente utilización del N y un menor riesgo de contaminación de fuentes de agua. El estado nutricional con nitrógeno en la etapa vegetativa de cinco (V5) y 12 hojas (V12) es importante porque se define el número total de granos y por lo tanto la producción potencial del cultivo (García y Espinosa 2009), lo cual acentúa la necesidad de establecer mecanismos para el diagnóstico de su disponibilidad en el suelo y de su concentración en la planta.

Generalmente, el estado nutricional de las plantas es evaluado por análisis químico del tejido vegetal (hoja) y, normalmente, en su interpretación se utilizan concentraciones críticas o rangos de concentración (Malavolta 2006). Sin embargo, estos métodos presentan ciertas limitaciones por el tiempo de ejecución, por el alto costo y la época para la toma de la muestra, en el caso del maíz en floración, lo que no permite corregir alguna deficiencia nutricional en la etapa vegetativa del cultivo.

Métodos de diagnóstico alternativos para valorar el estado nutricional nitrogenado de la planta, en tiempo real y en el propio campo, como el medidor portátil de clorofila o SPAD (Soil Plant Analysis Development), pueden servir como técnicas auxiliares en la toma de decisión sobre la fertilización nitrogenada (Argenta *et al.* 2004), debido a que la clorofila, pigmento que da el color verde de las hojas y que se encarga de absorber la luz necesaria para realizar actividad fotosintética, se ha correlacionado positivamente con el contenido de N en la planta (Silveira *et al.* 2003). En la planta de maíz, este pigmento refleja la condición nitrogenada del cultivo (Wolfe *et al.* 1988).

El uso del medidor portátil de clorofila o clorofilómetro para evaluar el estado nutricional de nitrógeno en la planta y la fertilización nitrogenada ha sido abordado en el cultivo de maíz, con la determinación de valores críticos de lecturas de SPAD (Rambo *et al.* 2007) y como índice de suficiencia de N basados en las lecturas del SPAD (Barbosa *et al.* 2008). Así mismo, se propusieron rangos de lecturas de SPAD con base en la respuesta del cultivo a dosis crecientes de N para los estados fenológicos de cinco a seis hojas, de 10 a 11 hojas totalmente desarrollada y en floración y se verificó que hay buenas posibilidades de detectar deficiencia de N con el auxilio del clorofilómetro en las etapas iniciales, cuando hay mayor sensibilidad al estrés por falta de N (Sánchez *et al.* 2012). Estos criterios de interpretación de las lecturas SPAD son útiles para detectar si habrá respuesta o no a la fertilización nitrogenada, pero no para determinar cuál sería la dosis de N (Fontes y Araujo 2007).

Este trabajo tuvo como objetivos establecer rangos de lecturas SPAD e índice para el diagnóstico y determinación de dosis de nitrógeno a recomendar en la etapa vegetativa del cultivo de maíz.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio

El estudio se realizó durante el período lluvioso (mayo-octubre) de 2009 y 2010, en el campo experimental de la Estación Yaritagua del INIA, situada en Yaritagua, valle medio del Río Yaracuy, estado Yaracuy (10° 05' 37' N y 69° 07' 19' W), a una altura de 320 msnm. El clima de la zona corresponde a bosque seco tropical, caracterizado por un período de sequía que dura de 4 a 6 meses. La precipitación media anual es 1038,3 mm y durante el ciclo del cultivo fue 658,1 mm; mientras que la temperatura media anual es 26,8°C, según registros generados por la estación agrometeorológica ubicada en la Estación. El suelo del área experimental pertenece al orden Alfisol clasificado como Oxic Haplustalfs, franco fino, caolinítico, no ácido, isohipertérmico, de baja fertilidad y perteneciente a la serie Uribeque.

## Evaluación de la respuesta del maíz a la aplicación de dosis de N y su relación con índices de planta y del suelo

La respuesta del cultivo a la aplicación de dosis crecientes de N y la relación con niveles de disponibilidad de N en el suelo, se evaluó con la aplicación de dosis crecientes de N (0, 40, 95, 120, 160 y 240 kg ha<sup>-1</sup>) en el segundo año del estudio. Previamente, en el primer año, se estableció un gradiente de nitrógeno en el suelo como lo indicaron Bundy y Malone (1988), mediante la aplicación de 0, 150, 300 y 450 kg N ha<sup>-1</sup>, en forma de Urea, aplicada diez días antes de la siembra e incorporada con pase de rastra. Se sembró el híbrido de maíz HR101, con el fin de garantizar la incidencia de factores bióticos que afectan la disponibilidad de nitrógeno en el suelo. Los tratamientos fueron arreglados en parcelas divididas con tres repeticiones, en bloques al azar, las dosis de N establecidas en el primer año correspondieron a las parcelas principales y las dosis de N para el segundo año a las subparcelas. Las parcelas principales estuvieron conformadas por 14 hileras de cultivo de 29 m de largo separadas a 0,85 m, para un total 357 m<sup>2</sup> por parcela y cuatro parcelas por bloque. La subparcela consistió de 6 hileras de cultivo separadas a 0,83 m entre sí y de 10 m de largo (44,82 m<sup>2</sup>). Se consideró como unidad experimental los cuatros hilos centrales (29,88 m<sup>2</sup>) y los dos hilos centrales se destinaron para la evaluación del rendimiento del cultivo (14,49 m<sup>2</sup>). Cada tratamiento estuvo separado por dos hileras.

Para el segundo año, se utilizó el híbrido de maíz DK 357 y al momento de la siembra se aplicaron 50 kg ha<sup>-1</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> con fosfato monoamónico (11% N y 52% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) y 60 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O con cloruro de potasio (60% K<sub>2</sub>O) en forma de banda e incorporada, para todos los tratamientos. Luego de la siembra se aplicó en forma manual, en banda y con Urea, 1/3 de la dosis de cada uno de los tratamientos. La cantidad restante (2/3) para completar la dosis por tratamiento fue aplicada a los 28-30 después de la siembra. El control de maleza fue realizado cuando el cultivo presentaba dos hojas, utilizando herbicidas post-emergentes a base de Atrazina y Nicosulfurón en dosis de 2 L ha<sup>-1</sup> del producto comercial.

## Determinación de lecturas de SPAD, concentración de N foliar, N inorgánico en el suelo y rendimiento en grano.

Se utilizó el clorofilómetro, modelo SPAD-502 (Minolta Camera co. Ltd., Japan) que mide de forma indirecta el contenido relativo de clorofila presente en la hoja. Las lecturas SPAD y el contenido de N foliar se ejecutaron, para el 2<sup>do</sup> año, en los estados fenológicos de cinco a seis hojas completamente expandida (V5-V6), 10 a 11 hojas (V10-V11) completamente expandidas y en floración (R1), después de la emisión de la inflorescencia femenina. En los estados V5-V6 y V10-V11, se tomaron las lecturas en las hojas más recientemente maduras en 10 plantas de cada unidad experimental de cada subparcela, de acuerdo con la metodología propuesta por Argenta *et al.* (2001). Durante la floración, en producción de barbas o estigmas, las lecturas se realizaron en la hoja índice VR1 (primera hoja debajo de la mazorca) tal como indicó Casanova (2005). En cada hoja se realizaron tres lecturas de la siguiente manera: una, en un punto situado a dos tercios de la longitud de la hoja, a partir de la base, y a 2 cm de uno de los márgenes de la hoja y los restantes dos puntos en los extremos del área seleccionada. Una vez realizadas las lecturas, las hojas fueron retiradas para conformar una muestra compuesta, a la cual se le determinó el contenido de N total, mediante digestión húmeda y por el método de micro Kjeldhal con el uso de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> y H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (Malavolta *et al.* 1997).

Se tomaron muestras compuestas de suelo, formadas por la mezcla de tres submuestras, que a su vez estaban compuestas por cuatro submuestras a tres profundidades (0-10, 10-20 y 20-40 cm) por subparcelas, colectadas en las entrelíneas del cultivo, en la fase V5-V6, previo a la segunda aplicación de fertilizante (2/3 de la dosis). El análisis de las muestras para la determinación del N mineral (N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> + N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) se realizó siguiendo la metodología propuesta por Faust *et al.* (1987). Las concentraciones obtenidas de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> y N mineral (N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> + N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) en mg kg<sup>-1</sup> fueron transformadas en cantidad, considerando el peso de una hectárea, de acuerdo con la densidad aparente del suelo de cada profundidad evaluada. Cada aumento de la profundidad del suelo (0-20 y 0-40

cm) correspondió a la suma aritmética de las cantidades de cada forma del N.

La cosecha de grano fue realizada cuando los granos alcanzaron 20% humedad y el rendimiento fue corregido al 15%, expresado en Mg ha<sup>-1</sup> y en porcentaje de rendimiento máximo (%Rend Máx), el cual correspondió al rendimiento de las distintas dosis aplicadas (0 a 240 kg ha<sup>-1</sup>) en relación con el máximo rendimiento observado.

### Análisis Estadísticos

Las lecturas SPAD, contenido de N mineral y rendimiento en grano del cultivo fueron sometidos a análisis de varianza y regresión simple y cuadrática, utilizando los procedimientos PROC REG del programa SAS (SAS 1999).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Relación entre las lecturas de SPAD con N foliar, N disponible del suelo y rendimiento del maíz

En general, el aumento en las unidades SPAD debido a la fertilización nitrogenada y la disponibilidad de N inicial, permitió expresar la relación entre el N y la intensidad del color verde de la hoja. La concentración de N mostró relación con las lecturas SPAD en los estados V5-V6 y V10-V11 ( $R^2=0,57$  y  $0,73$ ;  $P<0,05$ ). Para estas etapas la mayor parte de la variabilidad del contenido foliar de N quedó explicada por el valor de SPAD y por ende por el contenido de clorofila en el tejido (Figura 1). Estas correlaciones son de importancia porque pueden ser usadas para el diagnóstico en las etapas iniciales del cultivo. Además de confirmar la utilidad que tiene el clorofilómetro para detectar la aparición de deficiencia de N antes que sea visible al ojo humano (Samborski *et al.* 2009).

Con el fin de integrar el contenido de nitratos (N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) y amonio (N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) en el suelo y de clorofila en la hoja en el diagnóstico nutricional nitrogenado del maíz, fue evaluada asociación entre estas variables y se utilizó el N mineral (Nmin) (N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> + N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) del suelo más las dosis de N aplicadas con el fertilizante, definido como N disponible (ND). Así mismo, se seleccionó la profundidad de 0-20 cm porque generó un ajuste significativo para las etapas V5-V6 y V10-V11;

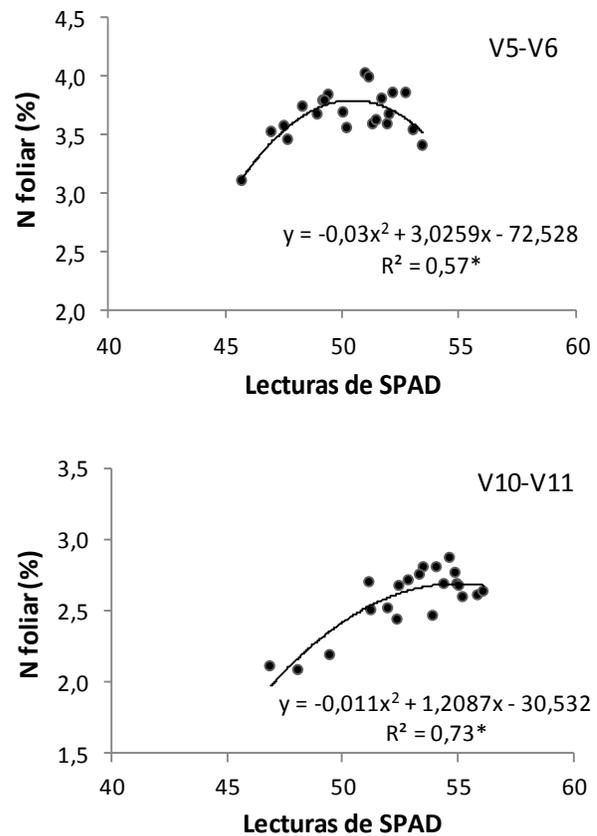
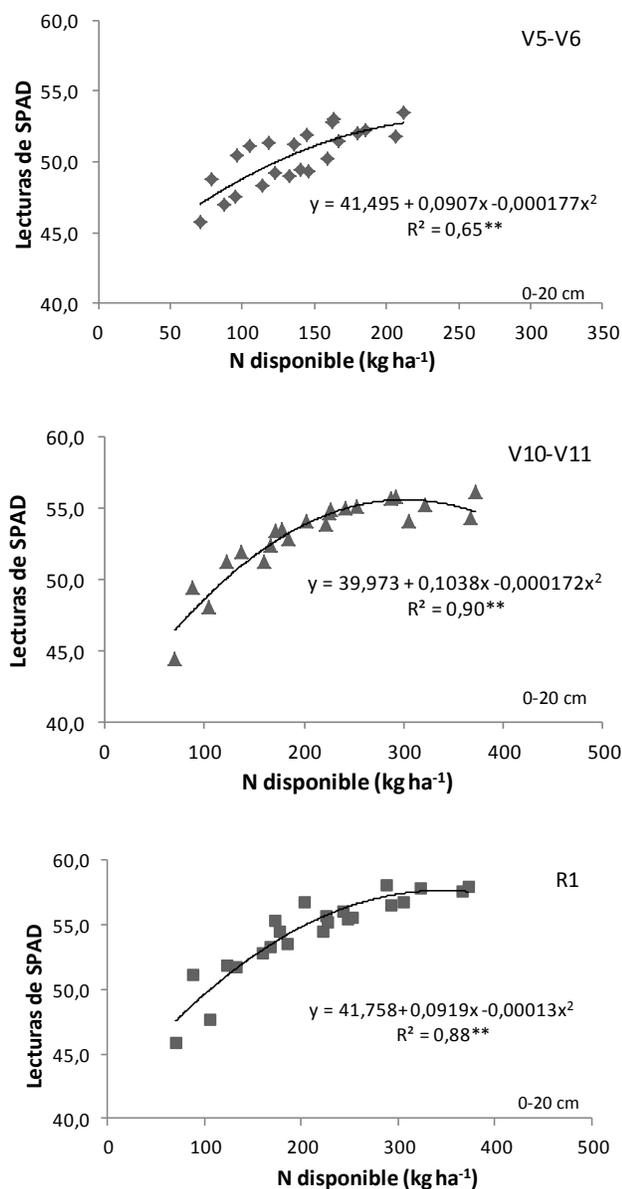


Figura 1. Relación entre las lecturas SPAD y el contenido de N foliar, en las etapas de desarrollo V5-V6 y V10-V11 de maíz DK 357.

además esta profundidad normalmente es utilizada para el análisis de fertilidad y recomendada para evaluar los demás nutrientes (P, K, Ca, y Mg) en el suelo para el cultivo maíz.

En la Figura 2 se muestran las relaciones entre las lecturas de SPAD en las etapas V5-V6, V10-V11 y R1 con el ND a 20 cm de profundidad. Para la etapa V5-V6 los incrementos en el ND con 1/3 de la dosis aplicada al momento de la siembra, aumentaron los valores de las lecturas de SPAD, con un efecto cuadrático. La máxima lectura de SPAD calculada para la etapa V5-V6 con el ND fue de 53,1. Este valor de SPAD es semejante al obtenido (52,1) por Argenta *et al.* (2004) para la etapa V6-V7 y superior al encontrado (43,4) por Piekielek y Fox (1992), para la misma etapa. Estos resultados demuestran la sensibilidad de esta metodología a factores como genotipo y condiciones ambientales al momento de la medición, lo que hace necesaria su calibración en cada situación.



**Figura 2. Relación entre lecturas de SPAD en hoja de maíz en etapas de desarrollo V5-V6, V10-V11, floración (R1) y el N disponible (Dosis de N más el N mineral inicial) en suelo acumulado a 20 cm de profundidad.**

El valor máximo de SPAD para la etapa V10-V11, en función a la fertilización nitrogenada (0 a 240 kg ha<sup>-1</sup>) más el N<sub>min</sub> inicial del suelo, fue 55,5 y aumentó los valores de lectura de SPAD en 9,0 unidades por cada 100 kg de N ha<sup>-1</sup>. Este valor máximo fue semejante (55,3) al señalado por Argenta *et al.* (2001) como nivel adecuado de N. Esta etapa se corresponde con un rápido aumento en la absorción del nutriente y acumulación de

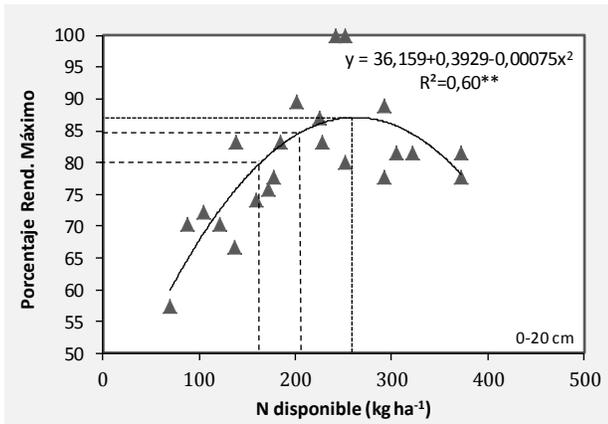
materia seca y define en gran parte el rendimiento final de grano.

En la etapa de floración, el ND indujo un aumento de las lecturas SPAD, con coeficientes de ajuste R<sup>2</sup> desde 0,88 (P<0,01). La lectura máxima para esta etapa fue 58,3 para el ND acumulado.

Si el contenido de clorofila, medido por el clorofilómetro, presenta relación con la dosis de N aplicada al suelo y el contenido de N en el suelo, se evidenciaría la posibilidad de utilizarlo para indicar necesidad de aplicar o no N al cultivo, con el objetivo de mantener contenidos adecuados de este elemento en las hojas. Esta afirmación está en concordancia con lo expuesto por García y Espinosa (2009), quienes indicaron que el clorofilómetro puede ser una herramienta válida en el diagnóstico del contenido de N en hojas de maíz, para ajustar las aplicaciones en el período de mayor susceptibilidad a la falta de N, de V6 y V12, momento en el que se define el número de hileras por mazorca y el número de granos por hilera, los cuales determinan la formación del número total de granos por mazorca.

Para evaluar la utilidad del clorofilómetro como instrumento de diagnóstico e interpretar las lecturas de SPAD de acuerdo con la respuesta del cultivo a la aplicación de N, se establecieron rangos de lecturas SPAD en función a categorías de probabilidad de respuesta del cultivo en alta, media y baja, para las fases fenológicas evaluadas, mediante la metodología utilizada por Silveira *et al.* (2003), la cual se fundamenta en que las lecturas SPAD aumentan con el incremento de las dosis de N. Esto significa que los valores de las lecturas incrementan con el aumento de la productividad del cultivo y que presentan tendencia a aumentar con los días después de la siembra.

Por consiguiente, los rangos de lecturas SPAD se establecieron con base en la relación funcional entre el rendimiento del maíz, expresado en porcentaje de rendimiento máximo (%Rend Máx) y el N disponible del suelo evaluado al momento de la siembra y en la etapa V5-V6 (Figura 3). Mediante la primera derivada de la ecuación mostrada en la Figura 3 se obtuvo el N disponible a 0-20 cm (ND<sub>0-20cm</sub>) requerido para alcanzar el máximo porcentaje de rendimiento (87%), a partir



**Figura 3.** Porcentaje de Rendimiento máximo en maíz en respuesta al N disponible (Dosis de N más el N mineral inicial) del suelo a los 0-20 cm de profundidad.

del cual fueron definidas las categorías, entre 0 y 80% (Baja), 80-85% (Media) y mayores a 85% del % Rend Máx (Alta).

El  $ND_{0-20cm}$  estimado para alcanzar el %Rend Máx de cada categoría de respuesta, se relacionó con las lecturas SPAD mediante las ecuaciones cuadráticas ilustradas en la Figura 2, para las etapas evaluadas. Las lecturas SPAD estimadas conformaron los rangos de acuerdo con el estado fenológico y la probabilidad de respuesta a la fertilización nitrogenada en maíz (Tabla 1). Los rangos de lecturas SPAD para las etapas de 10 a 11 hojas y en floración del maíz basados en la respuesta del cultivo a dosis de 0-40 (bajas), de 95 a 120 (medianas) y de 160 a 240  $kg N ha^{-1}$  (altas), propuestos por Sánchez *et al.* (2012) fueron menores a los obtenidos en el presente estudio.

Argenta *et al.* (2004) indicaron que valores de lecturas SPAD por encima de 52,1; 55,3 y 58,0;

**Tabla 1.** Probabilidad de respuesta del maíz en la etapa V5-V6 a la fertilización nitrogenada en función de las lecturas de SPAD en diferentes etapas fenológicas de cultivo.

Estado Fenológico	Probabilidad de respuesta a la fertilización nitrogenada		
	Alta (<80%)	Media (80-85%)	Baja (>85%)
	----- Lecturas de SPAD -----		
V5-V6	< 50,4	≥ 50,5 - 52,8	> 52,8
V10-V11	< 52,2	≥ 52,3 - 55,3	> 55,3
R1	< 53,2	≥ 53,3 - 56,9	> 56,9

para las etapas de V6-V7, V10 a V11 y en floración, respectivamente, representan un nivel adecuado de N.

La elaboración de estos rangos con los valores de lecturas SPAD de acuerdo con la probabilidad de respuesta, es una información importante que permite el diagnóstico en campo, en el momento oportuno, para orientar a los productores o técnicos en la toma de decisión sobre el criterio de fertilización (Silveira *et al.* 2003); sin embargo, es necesaria calibración y validación en estudios subsiguientes.

### Estimación de la Dosis de N

Los rangos de lectura SPAD obtenidos permitirán determinar la probabilidad de que el cultivo responda a la fertilización nitrogenada, por lo tanto se podría adicionar N en la fase V5-V6, cuando la lectura SPAD está por debajo del nivel máximo de cada rango estimado. Sin embargo, se han señalado posibles dificultades para traducir los valores de SPAD por debajo del valor crítico, en dosis de N requeridas para esta etapa (Zhang *et al.* 2008).

Por lo tanto, para utilizar el clorofilómetro como indicativo de la necesidad de fertilización nitrogenada, se propone la posibilidad de utilizar un índice que combine características de la planta (clorofila o nitrógeno en la hoja) y del suelo (contenido de nitratos y amonio en el suelo) como estrategia para estimar las dosis de N.

Para tal fin, se estimó el índice, obtenido a partir de la multiplicación de los valores de lecturas de SPAD en la fase V5-V6 y el ND obtenido de 2/3 de la dosis por aplicar más el  $N_{min}$  evaluado en la misma fase ( $Dosis \frac{2}{3} + N_{min_{V5-V6}}$ ) para la profundidad de 0-20 cm. La relación entre el índice y el % Rend Máx mostró una función cuadrática ( $R^2 = 0,56$ ;  $P < 0,05$ ) (Figura 4). Sin embargo, para utilizar determinada característica de la planta y del suelo como índice, es necesario establecer un valor de referencia o nivel crítico de esas características en función de las dosis de N aplicadas (Fontes y Araujo 2007).

$$Dosis\ 2/3 = \frac{\text{Índice}}{\text{Lectura de SPAD}_{V5-V6}} - Nmin_{V5-V6} \quad (1)$$

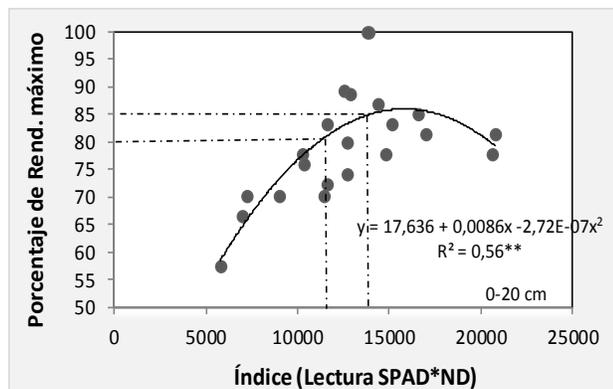


Figura 4. Relación entre porcentaje de rendimiento máximo y el índice de SPAD\*ND (Dosis 2/3 + Nmin<sub>V5-V6</sub>) para 0-20 cm.

Mediante la primera derivada de la ecuación  $(17,636 + 0,0086x - 2,72e^{-7}x^2)$  mostrada en la Figura 4, se obtuvo el índice requerido para alcanzar el máximo porcentaje de rendimiento, a partir del cual fueron definidas las categorías en alta, media y baja probabilidad de respuesta del cultivo, que determinaron los rangos de los índices en función de las categorías establecidas (Tabla 2).

Tabla 2. Probabilidad de respuesta del maíz en la etapa V5-V6 a la fertilización nitrogenada en función del índice (Lecturas de SPAD \* N disponible) a diferentes profundidades.

Profundidad (cm)	Probabilidad de respuesta a la fertilización nitrogenada		
	Alta	Media	Baja
	----- Índice -----		
	5-6 hojas totalmente expandidas (V5-V6)		
0-10	< 7066	≥ 7067 – 9133	> 9133
0-20	< 11267	≥ 11268 – 14318	> 14318
0-40	< 17230	≥ 17231 – 22973	> 22973

Con los rangos de los índices establecidos fue propuesta la dosis de N que sería necesaria aplicar, para ello: *i*) se selecciona el índice límite de cada rango establecido de acuerdo con la probabilidad de respuesta que se pueda alcanzar (80 o 85% Rend Máx) (Tabla 1), *ii*) con el índice (obtenido en el punto *i*), se despeja la dosis de N, la cual queda definida en función del índice [Lectura de SPAD<sub>V5-V6</sub> \*(Dosis2/3 + Nmin<sub>V5-V6</sub>)]. Esta puede ser expresada en la ecuación 1:

La dosis de nitrógeno a aplicar, puede ser ejemplificada, cuando se obtiene un 85 % del rendimiento máximo, el índice límite del rango correspondiente a la categoría media de la respuesta del cultivo, es de 14318 (Tabla 2). Con el valor del índice obtenido y la ecuación 1, se obtendrá la dosis. Para tal fin, se requiere la lectura SPAD y el N mineral evaluado en la etapa V5-V6 del maíz. La dosis obtenida para esta etapa debe ser ajustada con la dosis total y el fraccionamiento de la misma (1/3 de la dosis al momento de la siembra).

La probabilidad de utilizar un índice de planta y suelo para estimar la dosis de N no ha sido explorada, es escasa la información en la literatura sobre indicadores útiles y complementarios que permitan la toma de decisión en cuanto a la cantidad de fertilizantes nitrogenados a utilizar en función al nivel de %Rend Máx que se desea alcanzar.

### CONCLUSIONES

La lectura SPAD presentó relación con la dosis de N aplicada al suelo y el contenido de N en el suelo, por lo que puede ser utilizada para detectar en campo deficiencias de N en el cultivo en las fases V5-V6, V10-V11 y floración de acuerdo con los rangos de lecturas SPAD establecidas.

Se determinó un índice para estimar la dosis de N que se recomienda aplicar en la etapa de crecimiento de cinco a seis hojas del maíz, mediante la integración de lecturas SPAD y el N disponible en el suelo a 0-10, 0-20 y 0-40 cm de profundidad.

Se requiere calibrar y validar la metodología propuesta para la determinación de la dosis de N a aplicar en lotes comerciales.

### AGRADECIMIENTO

A los técnicos Carlos Colmenares y Francisco Castañeda por su asistencia en la ejecución del ensayo de campo y muestreos realizados. Al CDCHT-UCLA por el financiado del proyecto y al personal técnico de Campo de la Estación Experimental Yaritagua, del INIA.

## REFERENCIAS

- Argenta, G., Ferreira, P. and Sangoi, L. 2004. Leaf relative chlorophyll content as an indicator parameter to predict nitrogen fertilization in maize. *Ciência Rural* 34(5): 1379-1387.
- Argenta, G., Ferreira, P., Bortolini, C., Forsthofer, E. e Strieder, M. 2001. Relação da leitura do clorofilômetro com os teores de clorofila extraível e de nitrogênio na folha de milho. *R. Bras. Fisiol. Veg.* 13 (2): 158-167.
- Barbosa, M., Cobucci, T., Fageria, N. e Neves, P. 2008. Determinação da necessidade de adubação nitrogenada de cobertura no feijoeiro irrigado com auxílio do clorofilômetro portátil. *Ciência Rural* 38 (7): 1843-1848.
- Bundy, L. and Malone, E. 1988. Effect of residual profile nitrate on corn response to applied nitrogen. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 52 (1): 1377-1382.
- Casanova, E. 2005. Introducción a la Ciencia del Suelo. Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico. UCV. p. 454.
- Faust, H., Sebastianelli, J. y Axmann, H. 1987. Manual de laboratorio. Métodos para el análisis de 15N. In. Curso interregional de entrenamiento sobre el uso de 15N en ciencias de suelos, nutrición vegetal y biotecnología agrícola. Academia de Ciencias de la RDA. Leipzig, DDR. p.122.
- Fontes, P. e Araujo de C. 2007. Adubação nitrogenada de hortaliças. Princípios e práticas com o tomateiro. Ed. Universidade Federal de Viçosa, Brasil. Pp. 148.
- García, J. y Espinosa, J. 2009. Relación entre el índice de verdor y la aplicación de nitrógeno en diez híbridos de maíz tropical en Colombia. VXIII Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. 16-20 de Noviembre. Costa Rica.
- Malavolta, E. 2006. Manual de nutrição mineral de plantas. Ed. Agronômica Ceres. São Paulo, Brasil. 638 p.
- Malavolta, E., Vitti, G. e Oliveira, S. 1997. Avaliação do estado nutricional das plantas. Princípios e aplicações. POTAFOS. Piracicaba. 319 p.
- Piekielek, W. and Fox, R. 1992. Use of a chlorophyll meter to predict sidedress nitrogen requirements for maize. *Agronomy J.* 84: 59-65.
- Rambo, L., Ferreira, P., Strieder, M., Sangoi, L., Bayer, C. e Argenta, G. 2007. Monitoramento do nitrogênio na planta e no solo para predição da adubação nitrogenada em milho. *Pesq. Agropec. Bras.* 42(3): 407-417.
- Samborski, S., tremblay, N. and Fallon, E. 2009. Strategies to make use of plant sensors-based diagnostic information for nitrogen recommendations. *Agronomy. J.* 101: 800-816.
- Sánchez, A., Delgado, R., Lorbes, J. y Rodríguez, V. 2012. Uso del Clorofilómetro en el diagnóstico nitrogenado en cultivo maíz. XIX Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo y XXIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. 16 al 20 de abril. Mar del Plata, Argentina.
- SAS Institute Inc. 1999. SAS/STAT User's Guide, Version 8, Cary, NC: SAS Institute Inc.
- Silveira, P., Braga, A. e Didonet, A. 2003. Uso do clorofilometro como indicador da necessidade de adubação nitrogenada em cobertura no feijoeiro. *Pesq. Agropec. Bras.* 38(9): 1083-1087.
- Wolfe, D., Henderson, D., Hsiao, T. and Alvino, A. 1988. Interactive water and nitrogen effects on senescences of maize. II. Photosynthetic decline and longevity of individual leaves. *Agronomy J.* 80: 865-870.
- Zhang, J., Blackmer, A., Ellsworth, J. and Koehler, K. 2008. Sensitivity of chlorophyll meters for diagnosing nitrogen deficiencies of corn in production agriculture. *Agronomy J.* 100 (3): 543-550.