

USO DEL CLOROFILÓMETRO SPAD-502 EN EL MANEJO DE LA FERTILIZACIÓN NITROGENADA EN EL CULTIVO DE MAÍZ. AZUERO, PANAMÁ. 2000-2002.

Román Gordón M.¹; Jorge Franco²; Andrés González²

RESUMEN

Se realizó un estudio para determinar mediante el uso del clorofilómetro SPAD-502 el estado nutricional del maíz, con respecto al nitrógeno antes de la primera y segunda aplicación de la urea, con el fin de recomendar ajustes a la fertilización nitrogenada. Un segundo objetivo fue el de determinar la necesidad de incrementar o disminuir la dosis de nitrógeno (N) aplicado a una parcela el siguiente año, tomando en cuenta la lectura del clorofilómetro a los 65 días después de la siembra (dds) del cultivo previo. Se utilizaron los datos obtenidos de 15 experimentos de niveles de aplicación de N que fueron conducidos en distintas localidades de la Región de Azuero durante los años 2000, 2001 y 2002. Las dosis evaluadas en estos experimentos variaron de 0 a 350 kg de N/ha. Se tomaron datos del rendimiento de grano así como lecturas con un clorofilómetro a los 21, 37 y 65 dds. Las primeras dos lecturas fueron realizadas en la última hoja verdadera emergida y, la última lectura, en la hoja de la mazorca con un clorofilómetro SPAD-502 de Minolta. Las dosis que optimizaron los rendimientos, así como el rendimiento máximo por localidad se obtuvieron mediante la regresión tipo Cuadrática-Plateau. Se calculó el rendimiento relativo por localidad y se relacionó con las lecturas del SPAD-502 a los 21, 37 y 65 dds mediante el modelo Lineal-Plateau. También se relacionó la lectura a los 65 dds con el nitrógeno deficitario para lograr el rendimiento máximo por localidad. Se encontró que la correlación entre los valores de lectura del SPAD-502 al estadio 21 dds y el rendimiento relativo de grano fue baja; la misma fue aumentando en las posteriores lecturas a los 37 y 65 dds. De acuerdo a las ecuaciones encontradas, el valor crítico para tomar una decisión a los 21 dds está alrededor de las 39 unidades SPAD-502, mientras que para los 37 dds, este valor osciló alrededor de 45. De acuerdo a la ecuación para determinar la necesidad de aumentar o no el nivel de N el siguiente año, lecturas por debajo de 56.2 indican que hubo deficiencia de N, mientras que lecturas por encima de este valor indican que los niveles de N aplicados al cultivo fueron las adecuadas o pudo haber un exceso de N, el cual no puede ser calculado con esta metodología.

PALABRAS CLAVES: Maíz; *Zea mays*; aplicación de abonos; nitrógeno; clorofilas; instrumentos de medición; Panamá.

¹ Ing. Agr. M.Sc. Protección de Cultivos. IDIAP. Centro de Investigación Agropecuaria de Azuero "Ing. Germán De León". Los Santos, Panamá. e-mail: rgordonm@cwpanama.net

² Agr. IDIAP. Centro de Investigación Agropecuaria de Azuero "Ing. Germán De León". Los Santos, Panamá.

USE OF CHLOROPHYLL METER SPAD-502 IN THE MANAGEMENT OF NITROGEN CORN FERTILIZATION. AZUERO, PANAMA. 2000-2002.

A study was carried out to determine corn nutritional stage regarding nitrogen, through the use of Chlorophyll meter SPAD-502 before the first and second urea spreading on the crop, in order to recommend nitrogen fertilization adjustment. A second objective was determining the necessity to increase or decrease nitrogen rates applied on the field according to chlorophyll meter lecture made 65 days after planting (dap) on the current crop. We used the database of 15 experiment of nitrogen rates carried out in some localities of Azuero Region during 2000, 2001 and 2002. The nitrogen rates of this experiment varied between 0 to 350 kg N/ha. The yield grain was calculated and chlorophyll meter lectures were read to 21, 37 and 65 dap. The two first lectures were achieved on the last true leaf and the last one was achieved on the ear leaf with a chlorophyll meter SPAD-502 by Minolta. The rates what optimized the grain yield, like as the plateau by locality were calculated by Quadratic-Plateau model. The relative yield was calculated by locality and correlated with the 21, 37 and 65 lectures of the SPAD-502 with the use of Linear-Plateau model. We correlated the 65 dap lecture with the additional nitrogen needed to achieved the plateau by localities. We found low correlation between SPAD-502 lecture and relative yield at 21 dap, but this correlation improved with the 37 and 65 dap lectures. According to equation at 21 dap the critical value (joint) to take a decision is around to 39 SPAD-502 unities, in the mean time at the 37 dap this value oscillated around 45 unities. In relation to equation for determining the necessity to increase or not the N rates the next year, lectures below 56.2 indicated nitrogen deficiencies, in the meantime up stairs lectures of this value indicate nitrogen excess.

KEYWORDS: Corn; *Zea mays*; fertilization spreading; nitrogen; chlorophylls; measurement instrument; Panama.

INTRODUCCIÓN

Las deficiencias del nitrógeno (N) en el cultivo de maíz pueden resultar en síntomas identificables de manera fácil en campo. Las plantas con deficiencia de este nutrimento se observan inicialmente con una clorosis marcada en las hojas más viejas de la misma. El síntoma inicia en el ápice y avanza a lo largo del centro de la hoja en forma de "V"; si la deficiencia es severa, se observa una senescencia prematura o muerte de las hojas. Por el contrario, plantas que reciben excesiva cantidad de este elemento se tornan de un color verde oscuro.

El realizar recomendaciones de nitrógeno más precisas en cultivos que demandan altas cantidades de este nutrimento como el maíz, se ha ido tornando más importante, debido a las altas posibilidades de contaminación con nitratos de las fuentes superficiales y subterráneas de agua (Piekielek y Fox, 1992). Evaluaciones de distintos tipos de metodologías de evaluación de suelo y tejido vegetal para determinar las necesidades de este elemento por las plantas se han implementado en los últimos años. Estas nuevas metodologías han mejorado considerablemente el manejo de este nutrimento en el cultivo de maíz

(Blackmer y col., 1994; Binder y col., 2000; Fox y col., 2001; Piekielek y col., 1995). Sin embargo, muchas de estas tecnologías implican un alto esfuerzo, debido a la toma de muestras en campo, su posterior procesamiento y análisis de laboratorio, el cual implica altos costos por reactivos y mano de obra especializada.

El clorofilómetro SPAD-502 es un instrumento electrónico que permite la lectura de manera sencilla, rápida y no destructiva en el campo del contenido de clorofila de la planta (Yadava, 1986). Este instrumento utiliza fuentes de luz y detectores para medir la luz transmitida por las hojas de la planta en dos longitudes de onda entre 650 a 940 nm, la cual es procesada y convertida en una lectura digital cuyas unidades de medida se conocen como SPAD (Soil Plant Analysis Development) (Piekielek y Fox, 1992; Sainz Rozas y Echeverría, 1998).

Los resultados obtenidos por Marquard y Tipton (1987) indican que las lecturas del clorofilómetro SPAD-502 no han diferido significativamente de los otros métodos utilizados en el laboratorio para medir el contenido de clorofila en 12 especies de plantas cultivables. Blackmer y col. (1994) determinaron que la reflectancia de longitudes de onda cerca de 550 nm están altamente correlacionadas con el rendimiento relativo, lo que se traduce en

un método para estimar deficiencias de N en las hojas de maíz, dado que a esta longitud de onda se encontró una alta correlación entre la lectura del clorofilómetro y el contenido de nitrógeno en la hoja.

Schepers y col. (1992); Piekielek y col. (1995); Varvel y col. (1997) y Fox y col. (2001) demostraron en sus estudios que con el uso del clorofilómetro SPAD-502 se puede detectar con precisión las deficiencias de nitrógeno en el cultivo de maíz, pudiéndose corregir dichas deficiencias a través de los valores calculados en las distintas etapas en que se utilizó el clorofilómetro.

Los valores del clorofilómetro al estadio V6 están relacionados con el estado nitrogenado de las plantas (Piekielek y Fox, 1992; Jeminson y Lytle, 1996). Sin embargo, Blackmer y Schepers (1995); Sainz Rozas y Echeverría (1998) han encontrado bajas correlaciones entre los valores del SPAD-502 al estadio V6 y el rendimiento del cultivo de maíz, destacando que su uso como herramienta de diagnóstico en aquel estadio tiene un limitado potencial y éste mejora en estadios fenológicos posteriores. Altas correlaciones entre los valores de lectura del SPAD al estadio R3-R4 y el rendimiento del cultivo de maíz también han sido informadas por Piekielek y col. (1995).

El presente trabajo se realizó con los siguientes objetivos: 1) Determinar

mediante el uso del clorofilómetro SPAD-502 el estado nutricional del maíz con respecto al nitrógeno antes de la primera y segunda aplicación de urea, con el fin de recomendar ajustes a la fertilización nitrogenada; 2) Determinar la necesidad de incrementar o disminuir la dosis de nitrógeno aplicado a una parcela el siguiente año, tomando en cuenta la lectura del clorofilómetro a los 65 días después de siembra (dds) del cultivo previo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se efectuaron 15 experimentos de niveles de aplicación de nitrógeno, conducidos en distintas localidades de la Región de Azuero durante los años 2000, 2001 y 2002 (Cuadro 1). En el primer año se evaluaron nueve tratamientos que incluyeron dosis de 0 a 280 kg de N/ha con incrementos de 35 kg. En el segundo y tercer año, los tratamientos evaluados variaron de 0 a 350 kg de N/ha con incrementos de 50 kg/ha.

En todos los experimentos, el nitrógeno fue fraccionado en tres aplicaciones. La primera aplicación fue al momento de la siembra junto con el resto de los nutrientes, aplicados en forma de banda incorporada a una distancia de 5 cm de la semilla. La segunda y tercera aplicación se realizó a los 21 y 37 días después de siembra (dds), en forma de banda superficial en la

base de la planta. La proporción utilizada en todos los experimentos fue de 10% del total de N a la siembra y del 40 y 50% en las otras dos aplicaciones, respectivamente. La fuente de nitrógeno utilizada para todos los años fue urea al 46%. La fertilización del cultivo se completó con la aplicación de 60 kg de P_2O_5 /ha en forma de super fosfato triple, 83 kg de K_2O /ha más 30 kg de S/ha, estos dos últimos utilizando como fuente el sulfato de potasio.

El diseño experimental utilizado en todos los ensayos fue el de bloques completos al azar con cuatro repeticiones, con excepción de la localidad de Guararé en el año 2000, la cual tuvo tres repeticiones. Cada parcela experimental consistió de cinco surcos de 5.2 m de largo a una densidad teórica de 6.25 plantas/m². Esta población se obtuvo con una distancia de siembra de 80 cm entre hileras y 20 cm entre posturas, dejando una planta por golpe. La parcela efectiva consistió de los tres surcos centrales de la parcela experimental. El cultivar utilizado durante los tres años del estudio fue el híbrido X-1358K de la casa Pioneer. Toda la semilla fue tratada con el insecticida thiodicarb a razón de 7.0 g de i.a./kg. Se realizaron controles químicos y manuales de malezas durante todo el desarrollo del cultivo, procurando que no hubiera competencia entre malezas y el cultivo (Gordón y col., 2004a).

CUADRO 1. UBICACIÓN Y FECHA DE SIEMBRA DE LAS 15 LOCALIDADES DEL ENSAYO DE EVALUACIÓN DE DOSIS DE NITRÓGENO EN EL CULTIVO DE MAÍZ. AZUERO, PANAMÁ. 2002.

Localidades	Latitud	Longitud	Fecha de siembra
2000			
San José-1	7°40.90'	80°14.10'	04-sep
Paraíso	7°40.45'	80°09.09'	05-sep
Tablas Abajo	7°47.28'	80°15.23'	06-sep
Guararé	7°47.70'	80°16.40'	07-sep
Portobelillo-1	8°02.51'	80°33.60'	14-sep
2001			
Manantial	7°48.03'	80°13.41'	06-sep
Paraíso	7°40.45'	80°09.09'	07-sep
Portobelillo-2	8°02.59'	80°33.78'	11-sep
San José-2	7°41.90'	80°13.57'	13-sep
Los Castillos	7°58.36'	80°36.83'	14-sep
2002			
San José-2	7°41.90'	80°13.57'	03-sep
Paraíso	7°40.50'	80°09.09'	05-sep
Tablas Abajo	7°47.28'	80°15.23'	09-sep
Los Castillos	7°58.29'	80°36.86'	12-sep
Agua Buena	7°50.07'	80°24.31'	20-sep

Se tomaron lecturas con el clorofilómetro SPAD-502 a 12 plantas al azar de los tres surcos centrales de cada parcela a los 21 (2001 y 2002), 37 (2001 y 2002) y 65 dds (2000, 2001 y 2002).

Las dos primeras lecturas (21 y 37 dds) se tomaron en la última hoja verdadera de acuerdo a la recomendación de Piekielek y Fox (1992). La lectura a los 65 dds se tomó en la hoja que está en la base de la mazorca principal, a 1-2 cm del borde de la misma, entre los dos tercios a tres cuartos desde la base hacia la punta, teniendo el cuidado de evitar manchas por hongos o daños de la hoja (Piekielek y col., 1995).

Las lecturas del clorofilómetro están dadas en unidades SPAD. Al momento de la cosecha, se tomaron datos de peso de campo de las mazorcas, número de plantas y mazorcas cosechadas, porcentaje de humedad del grano, rendimiento de rastrojo, número de plantas acamadas y altura de planta. Se calcularon los componentes del rendimiento estándar (Bolaños y Barreto, 1991). Se realizó un análisis de varianza por año para las lecturas del clorofilómetro a los 21, 37 y 65 dds.

Para determinar la respuesta en rendimiento a las dosis de N de cada localidad y año, Gordón y col. (2004a) utilizaron el modelo Cuadrático-Plateau. Este modelo es realizado utilizando re-

gresiones no lineales y está definido por las ecuaciones [1] y [2].

$$\begin{array}{ll} Y = B_0 + B_1 X + B_2 X^2 & \text{si } X < C \quad [1] \\ Y = P & \text{si } X > C \quad [2] \end{array}$$

En donde Y es rendimiento de grano (t/ha); X la dosis de N aplicada (kg/ha); B_0 el intercepto; B_1 el coeficiente lineal, B_2 el coeficiente cuadrático; C la dosis crítica de cambio (kg/ha); y P el rendimiento Plateau (t/ha).

El cálculo de la dosis que maximiza los rendimientos (X_0) se realizó igualando a cero la primera derivada de las ecuaciones obtenidas con este modelo (Ecuación 3) (Waugh y col., 1973; Ihnen Goodnight, 1985, citados por Cerrato y Blackmer, 1990). En las localidades donde no hubo respuesta al nitrógeno, el Plateau se calculó promediando el rendimiento de grano de los tratamientos de las dosis más altas de N que no fueron diferentes entre sí al 0.10 de probabilidad (k-ratio=50) de acuerdo a la prueba de Waller k-ratio t-test (Fox y col., 2001).

$$X_0 = -B_1 / 2B_2 \quad [3]$$

Se procedió a calcular el rendimiento relativo para todos los tratamientos en cada una de las localidades evaluadas, esto se logró dividiendo el rendimiento promedio de cada unidad experimental entre el rendimiento más alto observado en cada

localidad. Para determinar la lectura mínima del clorofilómetro que garantizara el mayor rendimiento en cada localidad a los 21 y 37 dds se realizó una regresión Lineal-Plateau entre el rendimiento relativo y la lectura del clorofilómetro a los 21 y 37 dds. El modelo Lineal-Plateau está definido por las ecuaciones [4] y [5].

$Y = B_0 + B_1 X$	si $X < C$	[4]
$Y = P$	si $X > C$	[5]

En donde Y es rendimiento relativo (t/ha); X la lectura del clorofilómetro (unidades SPAD); B_0 el intercepto; B_1 el coeficiente lineal; C la lectura crítica de cambio; y P el rendimiento relativo Plateau.

Dado que en cada ensayo, tanto el nivel óptimo del nitrógeno como el rendimiento máximo que se obtuvo están definidos por una ecuación Cuadrática-Plateau, para cada tratamiento se calculó la cantidad de nitrógeno necesaria para alcanzar el Plateau (diferencia entre la dosis óptima y la dosis aplicada).

Para determinar si al cultivo se le aplicó nitrógeno en cantidades insuficientes o no, se realizó una regresión lineal-Plateau entre la lectura del SPAD a los 65 días y la necesidad de nitrógeno adicional para llegar al nivel óptimo (Plateau), en cada tratamiento de

cada localidad. Para este análisis se eliminaron las cuatro localidades: Portobelillo (2000 y 2001); Manantial y San José (2001), en donde no se obtuvieron respuestas significativas a la aplicación de nitrógeno. Luego de las once localidades que quedaron, se eliminaron tres localidades: San José (2000 y 2002) y Paraíso (2001), en donde la respuesta a la aplicación del nitrógeno estuvo 20% por debajo del rendimiento máximo y R^2 menores de 0.53.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Respuesta a la aplicación de N

El resultado del análisis de la regresión Cuadrática-Plateau realizada a los ensayos ubicados en las 15 localidades de la Región indicaron que en 12 de los mismos, se encontró una respuesta significativa a la aplicación de N de acuerdo a este modelo (Gordón y col., 2004a). En las localidades Portobelillo (2000), Manantial (2001) y San José (2001), no hubo respuesta a la aplicación de este elemento. En la localidad de Portobelillo se observó una tendencia lineal a la aplicación, pero la misma presentó un R^2 bajo (0.25). De las localidades que presentaron respuesta significativa, las localidades de San José (2000 y 2002) y Paraíso (2001) presentaron coeficientes de regresión menores de 0.60 (Cuadro 2).

CUADRO 2. COEFICIENTES DE LAS ECUACIONES DE RESPUESTA A LA APLICACIÓN DE DISTINTAS DOSIS DE N. AZUERO, PANAMÁ, 2002.

Localidades	B ₀	B ₁	B ₂	N Máx. kg/ha	Rend Máx ^a t/ha	R ²
2000						
1. San José-1	6.85	0.0262	-0.00013	100.0	8.17	0.40
2. Paraíso	2.76	0.0276	-0.00006	230.0	5.93	0.77
3. Tablas Abajo	3.66	0.0344	-0.00008	215.0	7.36	0.91
4. Guararé	4.32	0.0415	-0.00017	122.0	6.85	0.81
5. Portobelillo-1				---	6.14	0.00
2001						
6. Manantial				---	7.23	0.12
7. Paraíso	4.84	0.0092	-0.00002	230.0	5.88	0.52
8. Portobelillo-2	4.88	0.027		---	5.46	0.25
9. San José-2				---	5.46	0.03
10. Los Castillos	1.65	0.0675	-0.00021	160.0	7.07	0.91
2002						
11. San José-2	6.97	0.0057	-0.00001	285.0	7.78	0.53
12. Paraíso	4.54	0.0234	-0.00005	235.0	7.28	0.81
13. Tablas Abajo	4.91	0.034	-0.00012	140.0	7.32	0.67
14. Los Castillos	1.89	0.0379	-0.0001	190.0	5.48	0.80
15. Agua Buena	1.27	0.0293	-0.00007	210.0	4.34	0.85

^a Rendimiento Plateau

Lectura del SPAD-502

El análisis de varianza de las lecturas del SPAD en las distintas etapas en que se realizó el muestreo identificó diferencias altamente significativas entre las dosis de N aplicadas y las localidades evaluadas para cada año en estudio (Cuadro 3). En los años en que se realizó la lectura a los 21 dds (2001 y 2002) se observaron diferencias altamente significativas entre localidades y tratamientos (Cuadro 3). Estas diferencias también fueron observadas para las dos lecturas subsiguientes (37 y 65 dds), reflejando la distinta disponibilidad de N en los distintos niveles aplicados en los tres años evaluados. En el Cuadro 4 se puede apreciar como el valor de las lecturas aumentó al transcurrir del tiempo. En promedio las lecturas aumentaron de 37.6 a 51.5 en el año 2002 y de 40.5 a 52.5 en el 2001 (de 21 dds a 65 dds).

Lectura del SPAD vs Rendimiento relativo

El resultado del análisis de regresión Lineal-Plateau entre el rendimiento relativo y la lectura del SPAD-502 a los 21 dds indicó que el modelo en el año 2001 no fue significativo y presentó un R^2 de 0.17. Esta respuesta se debió principalmente a la baja respuesta a la aplicación de N encontrada en los ensayos ejecutados este año. Al reali-

zar el mismo análisis a los datos del año 2002 se encontró que el coeficiente de regresión mejoró, presentando un valor de 0.73. A pesar de la diferencia en respuesta de ambos años, el punto de inflexión de la curva en los mismos fue similar (39.0 vs 39.5), obteniendo un Plateau alrededor del 95% del rendimiento relativo. Este resultado advierte que, con lecturas en un cultivo por debajo de 39 unidades SPAD, se está por debajo de alcanzar el rendimiento máximo, por lo tanto debiera ajustarse (incrementarse) la aplicación del N en el cultivo.

De acuerdo a los datos obtenidos en esta investigación (Cuadro 5), la correlación entre los valores de lectura del SPAD al estadio 21 dds y el rendimiento relativo de grano fue baja y la misma fue aumentando en las posteriores lecturas (37 y 65 dds), resultados similares obtuvieron Piekielek y col. (1995); Sainz Rozas y Echeverría (1998); Fox y col. (2001); en donde la precisión de esta herramienta mejoró a medida que el cultivo creció.

De acuerdo a las ecuaciones encontradas el valor crítico para tomar una decisión a los 37 dds está alrededor de las 45 unidades SPAD, mientras que para los 65 dds este valor osciló entre 47.7 y 57.0, como se aprecia en el Cuadro 5. Esta mayor diferencia en la última lectura puede estar reflejando la variación ob-

CUADRO 3. CUADROS MEDIOS PARA LA VARIABLE LECTURA DEL SPAD A LOS 21, 37 Y 65 DDS EN LOS TRES AÑOS DE EVALUACIÓN. AZUERO, PANAMÁ, 2000-2002.

F de V	gl	2000		2001			2002		
		C65	gl	C21	C37	C65	C21	C37	C65
Loc	4	1083.01**	4	390.07**	317.99**	356.63**	283.04**	198.86**	313.36**
Rep(Loc)	14	18.48	15	14.76	9.13	17.38	22.62	8.91	15.95
Trat	9	311.97**	8	80.74**	198.21**	390.12**	276.60**	434.92**	745.70**
Loc x Trat	36	45.76**	32	22.08**	32.47**	109.19**	34.14**	28.09**	57.22**
Error	126	8.89	120	9.33	6.81	7.07	5.12	3.65	6.74
CV (%)		6.40		7.60	5.50	5.10	6.10	4.40	5.20

** Diferencia altamente significativa ($P < 0.01$).

CUADRO 4. LECTURAS DEL CLOROFÍLOMETRO SPAD-502 SEGÚN DOSIS DE N APLICADA AL CULTIVO DE MAÍZ DURANTE LOS AÑOS 2000 AL 2002. AZUERO, PANAMÁ.

	kg N/ha										Prom	DMS
	0	35	70	105	140	175	210	245	280	350		
2000	0	35	70	105	140	175	210	245	280	350		
65 dds	40.6	43.7	45.7	47.3	48.8	49.1	51.2	51.0	50.9	47.6	47.6	1.9
2001	0	50	100	150	200	250	300	350				
21 dds	37.0	39.7	40.1	39.9	42.0	41.4	42.1	41.8	40.5	40.5	40.5	1.9
35 dds	42.3	45.8	46.7	47.6	50.1	50.3	50.0	48.7	47.7	47.7	47.7	1.6
65 dds	44.0	51.4	54.2	53.3	54.2	53.6	55.1	54.6	52.5	52.5	52.5	1.7
2002												
21 dds	31.6	34.0	36.3	38.6	39.2	40.1	40.5	40.7	37.6	37.6	37.6	1.4
35 dds	36.4	40.8	43.5	45.9	46.5	47.1	46.9	48.6	44.4	44.4	44.4	1.2
65 dds	40.2	47.9	51.8	53.4	54.3	54.3	54.3	55.6	51.5	51.5	51.5	1.6

CUADRO 5. VALORES DE LA ECUACIÓN DE REGRESIÓN LINEAL-PLATEAU ENTRE LAS LECTURAS DEL SPAD A LOS 21, 37 Y 65 DDS Y EL RENDIMIENTO RELATIVO, COEFICIENTE DE REGRESIÓN Y SIGNIFICANCIA DE LOS MODELOS EVALUADOS. AZUERO, PANAMÁ.

Época de la lectura SPAD	Intercepto	Pendiente	Plateau	Lectura del Cambio SPAD	R ²	Prob F
21 dds						
2001	-31.40	3.18	92.7	39.0	0.16	0.02
2002	-64.24	4.03	95.0	39.5	0.73	0.00
37 dds						
2001	-116.39	4.55	96.0	46.7	0.79	0.00
2002	-113.73	4.66	94.8	44.8	0.89	0.00
65 dds						
2000	-51.96	3.09	95.2	47.7	0.90	0.00
2001	-49.40	2.78	95.2	51.9	0.90	0.00
2002	-60.36	2.84	101.7	57.0	0.91	0.00

servada en los regímenes de lluvia en estos tres años, en donde el año 2002 presentó un fuerte estrés hídrico entre los 51-80 dds, mientras que en el 2000 y 2001 el estrés fue menos intenso (Gordón y col., 2004b). En la Figura 1 se puede apreciar las gráficas correspondientes a los datos del año 2002.

Se debe considerar que la lectura a los 21 dds refleja el resultado de la fertilización realizada al momento de la siembra, mientras que las lecturas a los 37 y 65 dds expresan el resultado (eficiencia) de la primera y segunda fertilización nitrogenada, respectivamente. Al realizar el muestreo previo a las aplicaciones secundarias de nitrógeno con las lecturas a los 21 y 37, se puede realizar un ajuste de las recomendaciones que se van a realizar. No obstante, con la lectura del

clorofilómetro a los 65 dds, no se puede realizar ajustes en la fertilización en el cultivo en que se realizó la lectura (debido a que a los 65 dds no se puede hacer ninguna corrección por deficiencia de nitrógeno), si no, que permite anticipar como se va a desarrollar el rendimiento del cultivo el siguiente año. Gordón y col. (2003) desarrollaron un modelo que permite predecir el rendimiento utilizando esta lectura y la población de las plantas.

Lectura del SPAD-502 a los 65 dds vs N faltante

El resultado del análisis de la relación de la lectura del SPAD-502 y el nitrógeno faltante, según los datos obtenidos de las ecuaciones Cuadrática-

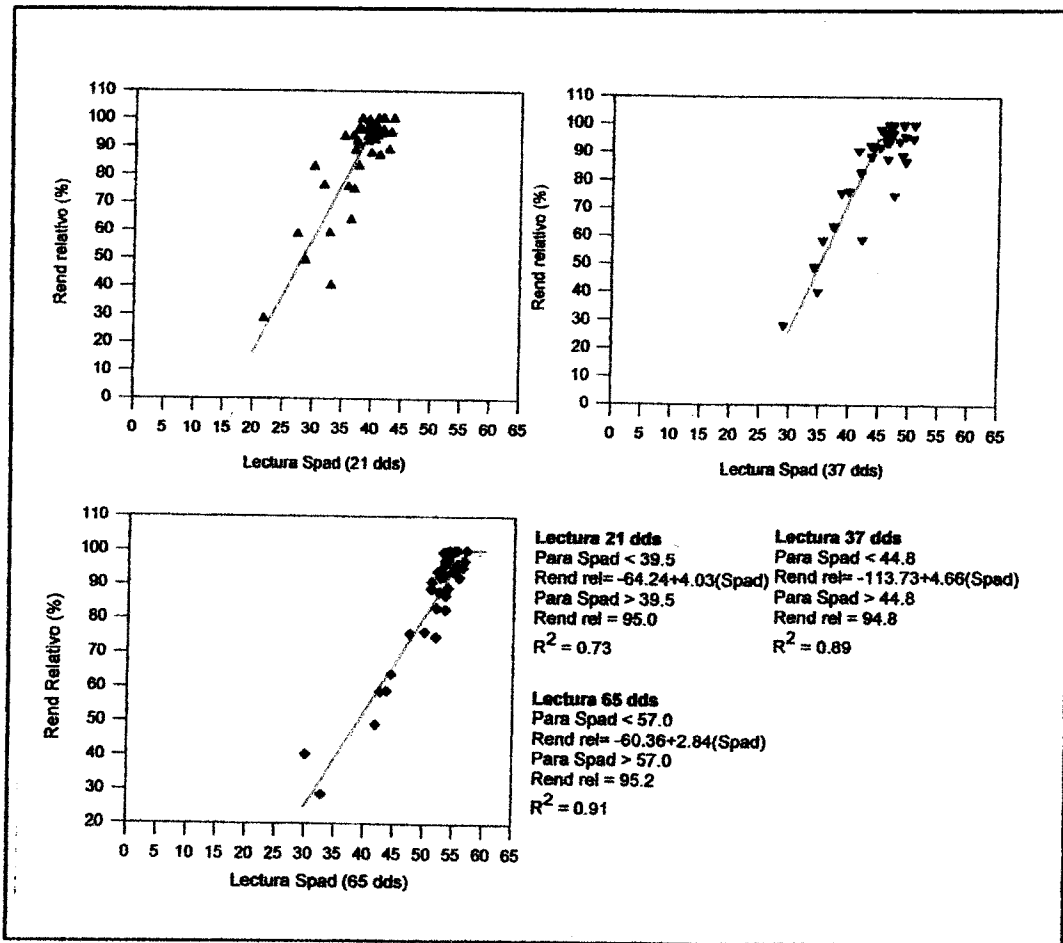


FIGURA 1.

ECUACIONES DE LA RELACIÓN DE LA LECTURA DEL SPAD-502 A LOS 21, 37 Y 65 DDS CON EL RENDIMIENTO RELATIVO. AZUERO, PANAMÁ. 2002.

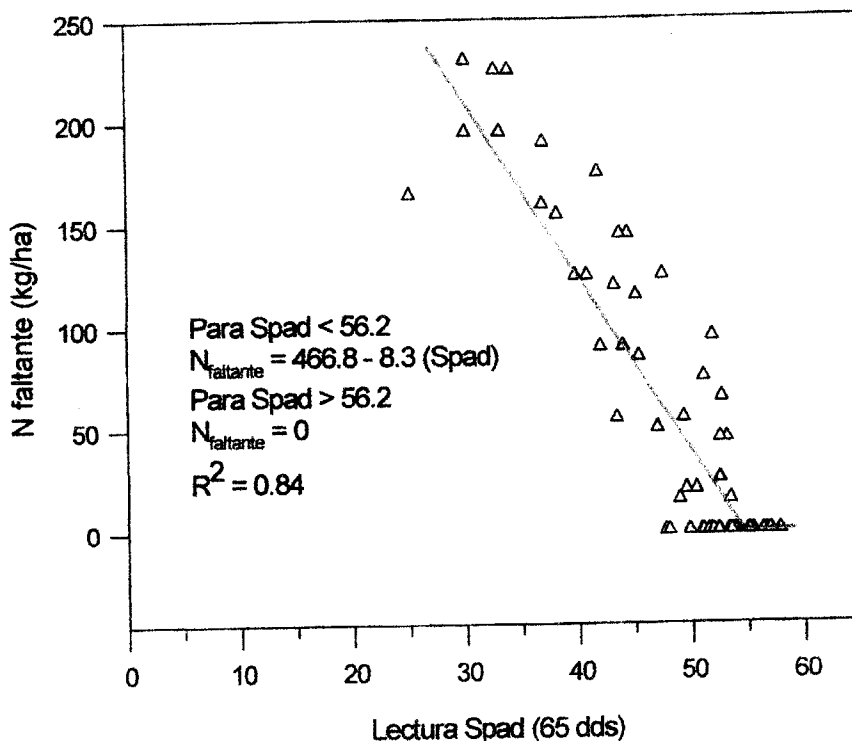


FIGURA 2. RELACIÓN ENTRE LA LECTURA DEL CLOROFILÓMETRO SPAD-502 Y LA CANTIDAD DE N FALTANTE PARA OBTENER EL RENDIMIENTO MÁXIMO DE GRANO. AZUERO, PANAMÁ. 2000-2002.

Plateau, presentó un coeficiente de regresión de 0.84. Los parámetros calculados indicaron que la pendiente de la ecuación fue de 8.3 y el intercepto 466.8, ambos estadísticamente significativos. El punto de quiebre o la lectura en donde se obtiene el Plateau (0 kg de N/ha) fue de 56.2 (Figura 2).

Este resultado implica que, cuando se obtienen lecturas del clorofilómetro entre 25 y 56.2 hay una reducción de 8.3 kg de N/ha en la necesidad de nitrógeno adicional, a la dosis ya aplicada en el cultivo en la que se le realizó el muestreo. También se puede concluir que lecturas superiores a 56.2 significa

que el nivel de nitrógeno aplicado a este cultivo fue excesiva. Se debe señalar que con este procedimiento no se logra saber cuanto más fue aplicado en el presente cultivo.

CONCLUSIONES

- Bajo las condiciones de Panamá en que se desarrolló el cultivo y con el cultivar utilizado en esta investigación se encontró que el clorofilómetro SPAD-502 a pesar de ser un instrumento para la lectura del contenido de clorofila en la planta, es una herramienta adecuada para detectar el contenido de nitrógeno (deficiencias y excesos) en las plantas de maíz en distintas etapas del cultivo.
- La precisión de las lecturas del SPAD para detectar deficiencias de N cuando el cultivo tiene 21 dds es baja y la misma aumenta en las posteriores lecturas a los 37 y 65 dds.
- Utilizando la lectura realizada a los 65 dds y los resultados de la regresión Cuadrática-Plateau se logró encontrar una buena forma para ajustar la dosis de N que se debe aplicar a un campo el siguiente año.

AGRADECIMIENTO

Los autores desean dejar expresado su agradecimiento al Dr. T. Jot Smyth de la Universidad Estatal de Carolina del Norte, por su aporte en el análisis y discusión de los datos de este trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

- BINDER, D.L.; SANDER, D.H.; WALTER, D.T. 2000. Maize response to time of nitrogen application as affected by level nitrogen deficiency. *Agron. J.* 92:1228-1236.
- BLACKMER, T. M.; SCHEPERS, J.S.; VARVEL, G.E. 1994. Light reflectance compared with other nitrogen stress measurements in corn leaves. *Agron. J.* 86: 934-938.
- BLACKMER, T. M.; SCHEPERS, J.S. 1995. Use of a chlorophyll meter to monitor nitrogen status and schedule fertirrigation for corn. *Journal of Production Agriculture* 8: 56-60.
- BOLAÑOS, J.; BARRETO, H. 1991. Análisis de los componentes de rendimiento de los ensayos re-

- gionales de maíz de 1990. *En* Análisis de los Resultados Experimentales del PRM 1990, Vol. 2. pp. 9-27.
- CERRATO, M.E.; BLACKMER, A.M. 1990. Comparison of models for describing corn yield response to Nitrogen fertilizer. *Agron. J.* 82: 138-143.
- FOX, R.H.; PIEKIELEK, W.P.; MCNEAL, K.E. 2001. Comparison of late season diagnostic tests for predicting Nitrogen status of corn. *Agron. J.* 93: 590-597.
- GORDÓN R.; FRANCO, J.; GONZÁLEZ, A. 2004a. Determinación de la dosis óptima, física y económica de Nitrógeno para el cultivo de maíz con tres modelos de respuesta, Azuero, Panamá, 2000 - 2002. *Ciencia Agropecuaria (Panamá)* 15: 1-16
- GORDÓN, R.; CAMARGO, I.; FRANCO, J.; GONZÁLEZ, A. 2004b. Impacto de la precipitación pluvial en el rendimiento de grano de Maíz en la Región de Azuero, Panamá, 1995-2003. II. Análisis del rendimiento y su relación con la época de siembra. *Ciencia Agropecuaria (Panamá)* 16: 31-44.
- GORDÓN R.; FRANCO, J.; GONZÁLEZ, A. 2003. Desarrollo de un modelo predictivo para estimar el rendimiento de maíz mediante el uso del Clorofilómetro SPAD-502. Azuero, Panamá, 1995-2001. *Ciencia Agropecuaria (Panamá)* 13: 1-15.
- JEMINSON, J.M.; LYTLE, D.E. 1996. Field evaluation of two nitrogen testing methods in Maine. *Journal of Production Agriculture* 9: 108-113.
- MARQUARD, R.D.; TIPTON, J.L. 1987. Relationship between extractable chlorophyll and an *in situ* method to estimate leaf greenness. *Hort. Sciences* 22:1327.
- PIEKIELEK, W.P.; FOX, R.H.; TOTH, J. D.; MACNEAL, K. E. 1995. Use of a Chlorophyll meter at the early dent stage of corn to evaluate Nitrogen sufficiency. *Agron. J.* 87: 403-408.
- PIEKIELEK, W.P.; FOX, R.H. 1992. Use of chlorophyll meter to predict sidedress Nitrogen requirements for maize. *Agronomy J.* 84: 59-65.

- SAINZ ROZAS, H.; ECHEVERRÍA, H.E. 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. Rev. Fac. Agron. La Plata 103 (1): 37-44.
- SCHEPERS, J. S.; REEVES, D.W.; DUFFIELD, R. R.; EDMISTEN, D.K.L. 1992. Field chlorophyll measurements for evaluation of corn nitrogen status. J. Plant.Nutr. 15-487-500.
- VARVEL, G. E.; SCHEPEPERS, J.S.; FRANCIAS, D. D. 1997. Ability for in-season correction of Nitrogen deficiency in corn using Chlorophyll meters. Soil Sci. Soc. Am. J. 61:1233-1239.
- YADAVA, U. L. 1986. A rapid and non-destructive method to determine chlorophyll in intact leaves. Hort. Sciences 21: 1449-1450.