

Revista de la Facultad de Agronomía, La Plata 103 (1), 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

H. SAINZ ROZAS¹ & H. E. ECHEVERRÍA^{2,3}

¹ Facultad de Agronomía-UNCPBA, ² EEA INTA Balcarce, ³ Facultad de Ciencias Agrarias UNMP
CC 276, 7620 Balcarce, Argentina

SAINZ ROZAS, H. & H. E. ECHEVERRÍA. 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.

Existe una estrecha asociación entre el contenido de nitrógeno (N) y clorofila en hojas de maíz. En consecuencia, el estado nutricional del cultivo puede ser evaluado a través de la medición del contenido de clorofila de la hoja. El objetivo de este trabajo fue determinar, durante el ciclo del cultivo de maíz, la relación existente entre las lecturas absolutas del clorofilómetro (Minolta SPAD® 502) y del índice de suficiencia de N (ISN) con el rendimiento en grano. El experimento fue realizado en Balcarce durante las campañas 1995/96 y 1996/97. En 1995/96 fue utilizado el híbrido Dekalb 636, mientras que en 1996/97 se utilizó el híbrido Dekalb 639. En ambos años, el cultivo no estuvo limitado por el abastecimiento de P ni de agua. Los tratamientos consistieron de distintos niveles de N y momentos de fertilización. Las lecturas fueron tomadas semanalmente desde el estadio de seis hojas (V6) hasta 15 días después de la floración. En el primer año se encontró una baja correlación entre los valores absolutos del SPAD al estadio V6 con el rendimiento del cultivo, mientras que en el segundo dicha correlación fue elevada. Sin embargo, en ambos años se observó una alta asociación de los valores SPAD y del ISN luego de V6 con el rendimiento del cultivo. En 1995/96, los valores óptimos para alcanzar el 95 % del rendimiento máximo oscilaron entre 51,5 y 61 unidades SPAD luego de V6, mientras que en 1996/97 los mismos variaron entre 47 y 54 unidades SPAD, para los mismos estadios fenológicos. Cuando los datos de ambos años fueron analizados el 95 % del rendimiento máximo fue logrado con un ISN de 0,97-0,98. Se concluye que el medidor de clorofila constituye una herramienta apropiada para el monitoreo de la disponibilidad de N, especialmente en estadios avanzados del cultivo.

Palabras clave: Maíz-nitrógeno-clorofila-estadios-rendimiento.

SAINZ ROZAS, H. & H. E. ECHEVERRÍA. 1998. Relationship between readings of chlorophyll meter (Minolta SPAD 502) at different crop corn stages and grain yield. Rev. Fac. Agron., La Plata 103 (1):37-44.

There exists a close association between N content and chlorophyll content, and therefore, crop N status can be evaluated using a chlorophyll meter. The objective of this work was to determine the relationship between corn yield and either absolute readings of a chlorophyll meter (Minolta® SPAD 502) or N sufficiency index (ISN), along crop cycle. The experiment was carried on at Balcarce during 1995/96 and 1996/97, without water or P limitations and with different corn hybrids for each year. Treatments were made at different rates and moments of N fertilization. Chlorophyll meter readings were taken weekly since six-leaf stage (V6) until 15 d after flowering. The correlation between absolute meter readings at V6 and corn yield was low and high for the first and the second year, respectively. However, after V6 and in both years there was a high association between either meter readings after or ISN and crop yield. Threshold meter readings after V6 to get 95% of maximum yield were 51.5- 61 and 57-54 SPAD units for 1995/96 and 1996/97, respectively. For both years, 95% of maximum yield was reached when ISN was between 0.97 and 0.98. It is concluded that the chlorophyll meter is an appropriate tool to check N availability for corn, especially at advanced crop stages.

Key words: corn-nitrogen-chlorophyll-stages-yield.

Recibido: 20/09/97. Aceptado: 03/02/98.

INTRODUCCIÓN

Los elevados requerimientos de N que tiene el cultivo de maíz y el impacto que dicho nutriente tiene sobre rendimiento hacen necesario un adecuado diagnóstico de su disponibilidad en el suelo. Cuando otros factores no limitan el crecimiento del cultivo, la carencia de N durante el período crítico de determinación del rendimiento (período comprendido entre los 15 días antes hasta los 15 días después de la floración), reduce la tasa de crecimiento, afectando el número de granos por unidad de superficie (Uhart & Andrade, 1995). En consecuencia, surge la necesidad de diagnosticar la disponibilidad de N para el cultivo desde el estadio de seis hojas (V6) (aproximadamente 15 días antes del comienzo del período crítico) hasta estadios reproductivos avanzados como el de grano lechoso (R3) (15 a 20 días luego de la floración) (Ritchie & Hanway, 1982).

La determinación del contenido de $N-NO_3^-$ en el suelo y en la base de los tallos de la planta de maíz al estadio V6 son métodos apropiados para diagnosticar las necesidades de fertilización nitrogenada (Fox *et al.*, 1989; Mesinger *et al.*, 1992; Sims *et al.*, 1995). Sin embargo, una desventaja común a tales métodos es el esfuerzo requerido para la obtención de la muestra, procesamiento de la misma y el tiempo demandado para el análisis.

El contenido de clorofila en la hoja de maíz esta estrecha y positivamente relacionado a la concentración de N en la hoja y, por lo tanto, refleja la condición nitrogenada del cultivo (Wolfe *et al.*, 1988). El medidor de clorofila SPAD 502 es un instrumento que permite evaluar indirectamente y en forma no destructiva el contenido de clorofila en la hoja y por ende, el estado nutricional del cultivo a través de una simple lectura. Los valores del clorofilómetro al estadio V6 están relacionados con estado nitrogenado de las plantas (Piekielek & Fox, 1992; Jeminson & Lytle, 1996). Sin embargo, Blackmer & Schepers (1995) han

encontrado bajas correlaciones entre los valores del SPAD 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 que este 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 *et al.*, (1995).

Además de la disponibilidad de N, otros factores ambientales pueden afectar el contenido de clorofila en hojas de maíz. Dwyer *et al.*, (1991) reportaron un fuerte incremento en la concentración de clorofila en hojas de maíz cuando la temperatura aumentó de 16 a 23 °C. En Balcarce, cultivos de maíz sembrados en fechas adecuadas para la zona (mediados de octubre), crecen durante su período vegetativo con temperaturas promedio del aire de 15 a 18 °C (Andrade *et al.*, 1993). En consecuencia, para las condiciones locales, es factible hipotetizar que existan bajas correlaciones entre los valores de lectura del SPAD y el rendimiento del cultivo de maíz en el estadio vegetativo de V6, y que dicha relación mejore con el progreso de la estación de crecimiento.

Debido a la falta de información local acerca del uso del medidor de clorofila Minolta SPAD 502 como herramienta de diagnóstico de deficiencias de N durante el ciclo del cultivo de maíz, el objetivo del siguiente trabajo fue establecer la relación entre los valores de lectura del SPAD y del ISN con el rendimiento del maíz en distintos momentos del ciclo del mismo.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento fue realizado en el campo experimental de la Estación Experimental Agropecuaria del INTA de Balcarce (37° 45' S; 58° 18' W) en la campaña 1995/96 y 1996/97. En ambas campañas el cultivo antecesor fue maíz realizado en siembra directa, el cual

proporcionó una cobertura del 80% en el momento de la siembra del cultivo (5000-6000 kg ha⁻¹ de materia seca de residuos). El suelo es un Paleudol petrocálcico y sus características químicas al momento de la siembra del cultivo son mostradas en la Tabla 1. En ambas campañas se aplicó al momento de la siembra del cultivo 46 kg ha⁻¹ de P₂O₅ para que este nutriente no limitara el crecimiento del cultivo. Las malezas e insectos fueron adecuadamente controlados. Los híbridos utilizados fueron DK 636 y DK 639 en 1995/96 y 1996/97, respectivamente, los que fueron sembrados a mediados de octubre en ambos años. La densidad de siembra fue de 73500 y 80000 plantas ha⁻¹ para el primer y segundo año, respectivamente.

El diseño experimental utilizado fue en bloques completos aleatorizados con tres repeticiones y los tratamientos consistieron en distintas dosis de N (0, 35, 70, 140 y 210 kg ha⁻¹) aplicadas en el momento de la siembra y en el estadio V6 del cultivo. En 1996/97 los tratamientos fueron similares a los del año anterior salvo que la dosis de 35 y 140 kg ha⁻¹ no fueron incluidas.

El medidor de clorofila Minolta® SPAD 502 mide la concentración relativa de clorofila por medio de la luz transmitida a través de la hoja en 650 nm (longitud de onda fotosintéticamente activa) y 940 nm. En ambos años, las lectu-

ras fueron tomadas de una hoja por planta en 20 plantas por parcela, aproximadamente a la mitad de la distancia entre el tallo y el ápice de la hoja y a la mitad de la distancia entre el borde la hoja y el nervio medio. Las lecturas fueron tomadas en la quinta hoja al estadio de V6, en la última hoja expandida hasta R1 y en la hoja de la espiga en floración y 15 días después de R1, metodología similar a la seguida por Blackmer & Schepers (1995). Se calculó el índice de suficiencia de N (ISN) como la relación entre la lectura de clorofila de cada unidad experimental y el valor promedio de lectura del tratamiento, que teóricamente no tuvo deficiencia de N (la dosis de 210 kg de N ha⁻¹ en ambos años). El uso de dicho índice permite eliminar las diferencias en el valor de lectura que pueden surgir del uso de diferentes híbridos, factores ambientales y otros que afecten el contenido de clorofila. Se calculó el rendimiento relativo (RR) como la relación entre el rendimiento de cada unidad experimental y el rendimiento promedio más alto observado. Los valores absolutos de clorofila y el ISN fueron correlacionados con el rendimiento relativo.

Para la determinación del rendimiento se cosecharon dos y tres surcos de 7,15 m de largo, en la campaña 1995/96 y 1996/97, respectivamente, ajustándose el mismo al 14% de humedad. El análisis de la varianza para

Tabla 1. Características del suelo al momento de la siembra, promedio de tres repeticiones.
Soil characteristics at the moment of the sowing. Average of three replications.

1995				1996			
P	N-NO ₃ ⁻	pH	C Orgánico	P	N-NO ₃ ⁻	pH	C Orgánico
(0-20 cm)	(0-100 cm)		(0-20 cm)	(0-20 cm)	(0-100 cm)		(0-20 cm)
mg kg ⁻¹	kg ha ⁻¹		%	kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹		%
41,7	37,0	5,8	3,2	53,0	33,0	5,8	3,2

esta variable fue realizado mediante el procedimiento GLM incluido en las rutinas del programa Statal Analysis System (SAS) (SAS Institute Inc 1985). Las medias de tratamientos fueron comparadas mediante el test de Tukey. Los modelos de regresión también fueron ajustados mediante el mismo programa.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las precipitaciones y el riego aplicado en ciertos momentos de la estación de crecimiento proporcionaron un adecuado estado hídrico al cultivo, especialmente en los días previos y posteriores a la floración (la cual ocurrió a mediados de enero en ambos años) (Tabla 2). Esta condición, junto con la baja disponibilidad de N mineral en el momento de la siembra del cultivo (Tabla 1) y probablemente la baja mineralización de N orgánico del suelo bajo SD, produjeron una gran respuesta en el rendimiento al N aplicado en ambos años y en el momento de aplicación en el primer año (Tabla 3). Si bien los rendimientos observa-

dos en el segundo año son menores que los del primero, se desconoce la causa de tal diferencia, ya que los tratamientos con más alta dosis de fertilización probablemente no estuvieron limitados por N.

En el primer año, al estadio V6 sólo se observaron diferencias significativas entre los valores de lectura del SPAD entre el tratamiento testigo y las dosis de 140 y 210 kg ha⁻¹ de N (Fig. 1). En el segundo año se observó un comportamiento estadístico similar, pero los valores SPAD al estadio V6 reflejaron mejor la distinta disponibilidad de N. Luego de este estadio, en ambos años, las lecturas del SPAD comenzaron a diferenciarse reflejando la distinta disponibilidad de N generada por los niveles de N aplicados en ambos años y por el momento de fertilización solamente en el primero (Fig. 1). Por lo tanto, la correlación entre los valores de lectura del SPAD al estadio V6 y el RR fue baja en el primer año y elevada en el segundo, ya que en ambos años, el rendimiento del cultivo fue afectado significativamente por los niveles de N aplicados y por el momento de fertilización en el primer año. Sin

Tabla 2. Condiciones térmicas e hídricas durante la estación de crecimiento del cultivo de maíz para las campañas 1995/96 y 1996/97.

Temperature and rainfall during the 1995/96 and 1996/97 corn growing season.

	Noviembre 1995			Diciembre 1995			Enero 1996			Febrero 1996			Marzo 1996		
Temperatura (°C)	18,3	15,3	16,9	19,1	18,7	21,4	22,6	19,2	20,2	17,3	21,2	19,2	19,7	21,8	17,8
Precipitaciones															
mm	141	8,2	22,7	41,7	3,7	2,5	89	0,6	5,2	21,3	20,2	42	0	22,2	27,6
Riego mm	—	—	—	—	51	64	—	60	—	64	—	—	—	—	—
	Noviembre 1996			Diciembre 1996			Enero 1997			Febrero 1997			Marzo 1997		
Temperatura (°C)	14,5	18,1	18,3	18,1	18,4	20,4	20,6	23,5	22,5	17,7	19,3	18,7	18,2	16,7	18,4
Precipitaciones															
mm	26	22,3	10,2	35	35	45,7	3	49	48	89,1	30,3	0	36	17,3	2,3
Riego mm							35	56	48						

Temperatura y precipitaciones promedio de 10 días.

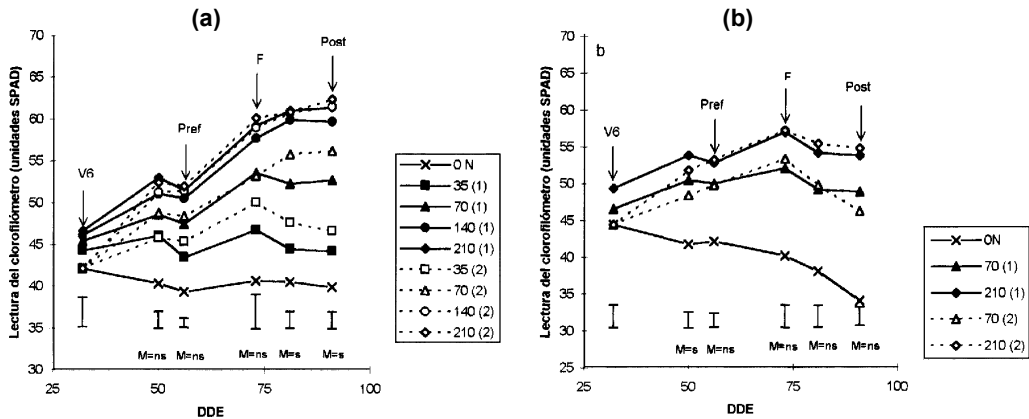


Figura 1. Evolución de los valores de lectura del medidor de clorofila en función de los días desde la emergencia del cultivo (DDE) en las estaciones de crecimiento 1995/96 (a) y 1996/97 (b): 0, 35, 70, 140 y 210 son kg N ha⁻¹; (1) y (2) representan la aplicación de N en el momento de la siembra del cultivo y al estadio V6, respectivamente. Pref = 15 días antes de la floración; F = floración; Post = 15 días después de la floración. Las barras verticales indican diferencias significativas según el test de Tukey ($P < 0,05$) para los niveles de N, promediados a través de los momentos de fertilización. M = momento de fertilización; s = significativo y ns = no significativo ($P < 0,05$).

Evolution of chlorophyll meter readings as a function of days after seedling emergence (DDE) in 1995/96 (a) and 1996/97 (b) growing seasons: 0, 35, 70, 140 y 210 are kg N ha⁻¹; and (1) and (2) represent N fertilization at planting and V6 stage, respectively. Pref= 15 days before flowering; F=flowering; Post= 15 days after flowering. Vertical bars indicate significant differences according to Tukey test ($P < 0.05$) for N levels, averaged across moments of application. M= moment of fertilization; s= significant and ns= non significant ($P < 0.05$).

embargo, en los dos años, luego de este estadio, se observó una elevada correlación entre dichas lecturas y el RR (Tabla 4). Similar comportamiento ha sido observado por Blackmer & Schepers (1995) en maíz bajo labranza convencional, quienes concluyen que el uso del SPAD en estadios tan tempranos como el de V6 tiene un limitado potencial como herramienta de diagnóstico de la disponibilidad de N para el cultivo, mejorando su capacidad luego de este momento.

Factores ambientales como la temperatura media del aire influyen sobre la síntesis de clorofila, existiendo una relación parabólica entre la temperatura media del aire y la concentración de clorofila en hojas de maíz. Cuando la temperatura aumenta en el rango de 15 y 20 °C se produce un fuerte incremento en la concentración de clorofila, mientras que por

encima de 20 °C, la tasa de aumento en la concentración de clorofila decrece abruptamente con su incremento (Dwyer *et al.*, 1991). Por lo tanto, las diferentes temperaturas medias del aire observadas previo al estadio de V6 (Tabla 2) (primeros días de diciembre en ambos años) podrían ser la causa de las diferentes correlaciones observadas en ambas campañas entre los valores de lectura del SPAD y el RR en V6. Luego de este estadio, la temperatura media aumentó, entrando en el rango óptimo para la síntesis de clorofila y su concentración va a depender más de la disponibilidad de N. En consecuencia, pequeños cambios en la temperatura media temprano en la estación de crecimiento pueden afectar la concentración de clorofila en la hoja, y por ende, el valor de lectura del SPAD, independientemente de la disponibilidad de N.

Tabla 3. Rendimiento del cultivo de maíz en siembra directa en las campañas 1996/96 y 1996/97 en función de los niveles de N y del momento de fertilización.*No-till corn yield in 1995/96 and 1996/97 as a function of N rates and moment of fertilization.*

Factor de Tratamiento	Niveles	1995/96	Factor de Tratamiento	Niveles	1996/97
	— kg ha ⁻¹ —			— kg ha ⁻¹ —	
Nitrógeno	0	7548 d	Nitrógeno	0	6798 c
	35	8975 c		—	—
	70	10758 b		70	9336 b
	140	13472 a		—	—
	210	13901 a		210	11001 a
Momento de fertilización	Siembra	11433 b	Momento	Siembra	10096 a
	V6	12120 a		V6	10241 a
CV		6,53	CV		4,48

Valores dentro de cada columna y factor de tratamiento, seguidos por la misma letra, no difieren significativamente al 5% de probabilidad acuerdo al test de Tukey.

En la Tabla 4 se observa que los valores de lectura del SPAD necesarios para alcanzar el 95-96 % del rendimiento máximo cambiaron durante el ciclo del cultivo. Dichos valores fueron de 49 y 51,5 unidades SPAD a los 32, 50 y 56 DDE y de 59; 60 y 61 a los 73, 81 y 91 DDE, respectivamente, en 1995/96. En el segundo año dichos valores fueron de 46,5; 57;

58; 57; 55 y 54 para los mismos estadios fenológicos. Los valores encontrados en V6 necesarios para alcanzar el 95 % del rendimiento máximo (49 y 46,5 para el primer y segundo año, respectivamente) son superiores al valor de 43,4 reportado por Piekielek & Fox (1992) y podría deberse a los más altos rendimientos observados en nuestra experiencia

Tabla 4. Relación entre los valores de lectura del SPAD en distintos momentos del ciclo del cultivo y el rendimiento relativo del cultivo de maíz bajo siembra directa en las campañas 1995/96 y 1996/97.*Relationships between chlorophyll meter readings at different crop stages and no-till relative corn yield in 1995/96 and 1996/97.*

Días desde la emergencia	Ecuación de regresión	1995/96		1996/97		
		R ²	Valor para el 95 % del Rmax	R ²	Valor para el 95 % del Rmax	
			Unidades SPAD		Unidades SPAD	
32	RR= 0,04x-1	0,40	49,0	RR= 0,07x-2,31	0,81	46,5
50	RR= 0,04x-1,1	0,83	51,5	RR= 0,03x-0,75	0,88	57,0
56	RR= 0,04x-1,1	0,86	51,5	RR= 0,03x-0,80	0,87	58,0
73	RR= 0,025x-0,52	0,87	59,0	RR= 0,022x-0,29	0,90	57,0
81	RR= 0,022x-0,37	0,88	60,0	RR= 0,022x-0,26	0,93	55,0
91	RR= 0,021x-0,33	0,93	61,0	RR= 0,018x-0,03	0,92	54,0

RR= rendimiento relativo; x= lectura del SPAD. Rmax= rendimiento máximo.

(Tabla 3) con respecto a los máximos rendimientos informados por estos autores (10,9 Mg de grano ha⁻¹). Del mismo modo, los valores observados 91 DDE en el primer año (61 unidades SPAD) son superiores a los citados para este mismo estadio por Piekielek *et al.*, (1995) y Jemison & Lytle (1996), mientras que en el segundo año los valores encontrados en este mismo estadio (54) se ubican dentro del rango citado por dichos autores (52-56).

Cuando para ambos años se relacionó el ISN con el RR se observó una baja correlación en V6 y elevadas correlaciones entre estas dos variables 15 días antes de R1, en R1 y R3 (Fig. 2), siendo los valores de ISN necesarios para alcanzar el 95 % del rendimiento máximo de 0,97-0,98 para aquellos estadios. Por lo tanto, ISN menores a estos valores in-

dican situaciones con deficiencias de N, siendo dichos valores superiores a los informados de 0,92 y 0,93 por Piekielek *et al.*, (1995) y Jemison & Lytle (1996). En la Figura 2 se puede observar además, que los valores de las pendientes disminuyeron con el progreso de la estación de crecimiento, es decir, un determinado valor de ISN indicó una situación de mayor deficiencia de N en estadios fenológicos tempranos y de menor deficiencia en estadios más avanzados. Este comportamiento indicaría que el uso del clorofilómetro en estadios tempranos del crecimiento podría sobrestimar los requerimientos de N, aunque esta hipótesis necesita ser investigada.

En síntesis, para las condiciones de este experimento se concluye que el medidor de clorofila no es una herramienta adecuada para

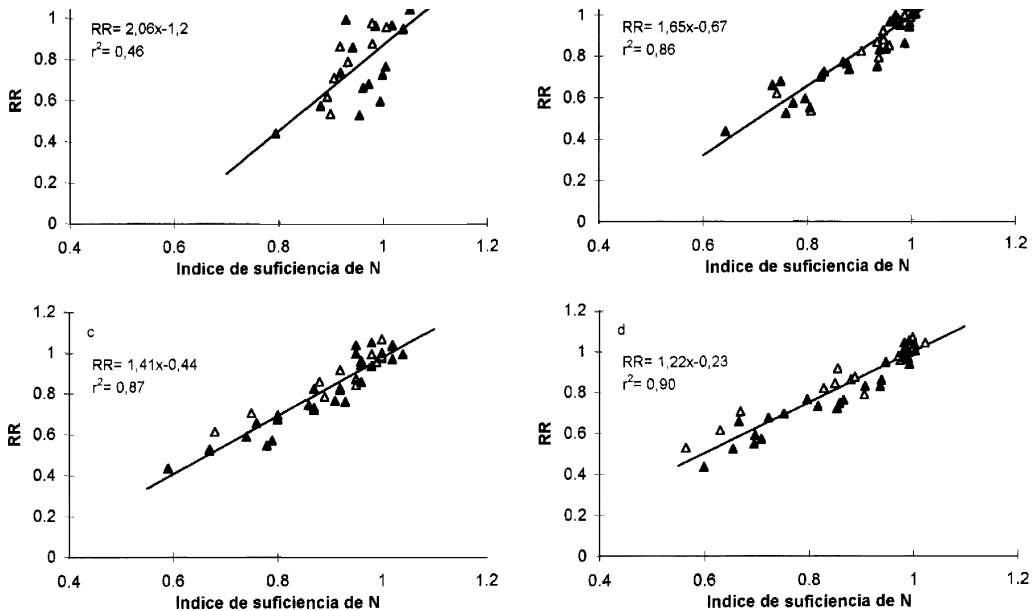


Figura 2. Relación entre el índice de suficiencia de N y el rendimiento relativo (RR) al estadio V6 (a), 15 días antes de la floración (b), floración (c) y 15 días después de la floración (d). Símbolos llenos y vacíos indican las estaciones de crecimiento 1995/96 y 1996/97, respectivamente.

Relationship between N sufficiency index and relative crop yield at V6 stage (a), 15 days before flowering (b), flowering (c) and 15 days after flowering (d). Closed and open symbol indicate the 1995/96 and 1996/97 growing seasons, respectively.

diagnosticar la deficiencia de N en estadios tan tempranos como el de V6. Por el contrario, luego de este estadio dicho instrumento detecta con gran precisión situaciones de deficiencia de N.

BIBLIOGRAFÍA

- Andrade, F. H., S. A. Uhart & A. Cirilo.** 1993. Temperature affects radiation use efficiency in maize. *Field Crops Research*, 32: 17-25.
- Blackmer, T. M. & J. S. Schepers.** 1995. Use of a chlorophyll meter to monitor nitrogen status and schedule fertigation for corn. *Journal of Production Agriculture*, 8: 56-60.
- Dwyer, L. M., M. Tollenaar & L. Houwing.** 1991. A nondestructive method to monitor leaf greenness in corn. *Canadian Journal of Plant Science*, 71: 505-509.
- Fox, R. H., G. W. Roth, K. V. Iversen & W. P. Piekielek.** 1989. Soil and tissue nitrate test compared for predicting soil nitrogen availability to corn. *Agronomy Journal*, 81:971-974.
- Jemison, J. M. & D. E. Lytle.** 1996. Field evaluation of two nitrogen testing methods in Maine. *Journal of Production Agriculture*, 9: 108-113.
- Meisinger, J. J., V. A. Bandel, J. S. Angle, B. E. O'Keefe, & C. M. Reynolds.** 1992. Presidedress soil nitrate test evaluation in Maryland. *Soil Scientific Society of America Journal*, 56: 1527-1532.
- Piekielek, W. P. & R. H. Fox.** 1992. Use of a chlorophyll meter to predict sidedress nitrogen requirements for maize. *Agronomy Journal*, 84: 59-65.
- Piekielek, W. P., R. H. Fox, J. D. Toth & E. M. Kirsten.** 1995. Use of a chlorophyll meter at the early dent stage of corn to evaluate nitrogen sufficiency. *Agronomy Journal*, 87: 403-408.
- Ritchie, S. W. & J. J. Hanway.** 1982. How a corn plant develops. Iowa State University of Science and Technology. Cooperative Extension Service Ames, Iowa. Special report N° 48.
- Sas.** Institute Inc. 1985. User's guide. Statistics. Version 5. SAS Institute Inc., Cary, North Carolina, USA.
- Sims, J. T., B. L. Vasilas, K. L. Gartley, B. Milliken & V. Green.** 1995. Evaluation of soil and plant nitrogen test for maize on manured soils of the atlantic coastal plain. *Agronomy Journal*, 87: 213-222.
- Uhart, S. A. & F. H. Andrade.** 1995. Nitrogen Deficiency in Maize: I. Effects on crop growth, development, dry Matter partitioning, and kernel set. *Crop Science*, 35:1376-1383.
- Wolfe, D. W., D. W. Henderson, T. C. Hsiao, & A. Alvino.** 1988. Interactive water and nitrogen effects on senescences of maize. II. Photosynthetic decline and longevity of individual leaves. *Agronomy Journal*, 80: 865-870.