
Relación del índice de verdor con la aplicación de nitrógeno en diez híbridos de maíz

Juan Pablo García¹ y José Espinosa²

Resumen

El nitrógeno (N) es el nutriente que más limita la producción del cultivo del maíz en Colombia. Además, el contenido de N en la planta está asociado con el verdor en la hoja, en consecuencia, el índice de verdor podría utilizarse como herramienta para mejorar el manejo de N en los cultivos. El objetivo de esta investigación fue conocer los índices de verdor de diferentes híbridos de maíz utilizados en Colombia, en diferentes etapas fisiológicas para evaluar su uso como herramienta de apoyo para mejorar la eficiencia de uso del N en maíz. Los ensayos se establecieron en diferentes municipios de Colombia. El diseño estadístico utilizado fue de parcelas dos veces divididas organizadas en bloques completamente al azar con tres repeticiones. El tratamiento principal fue la densidad de plantas, 55.000 y 65.000 plantas ha⁻¹, el sub tratamiento fueron los materiales genéticos (FNC 3056, FNC 514, FNC 114, DK 777, DK 234, SV 1127, P 30F83, DK 1040, DK 003, P 30F80) y el sub-sub tratamiento fueron cuatro niveles de N: 0, 75, 150 y 200 kg ha⁻¹. El índice de verdor se evaluó utilizando el Medidor de Clorofila SPAD-502 (MCF) y la Tabla de Comparación de Colores (TCC) desarrollada por el IRRI. En todas las localidades, el N incrementó significativamente la producción y las lecturas de índice de verdor realizadas con el MCF y la TCC presentaron correlaciones lineales altas. La eficiencia agronómica de N disminuyó significativamente cuando se incrementó la dosis de N.

Introducción

El N es el elemento nutritivo que más limita la producción del cultivo del maíz. En Colombia existen reportes de que la respuesta a la aplicación de N puede alcanzar hasta 7 t ha⁻¹ de grano. A pesar de que el maíz requiere cantidades altas de N, este nutriente es el que más fácilmente se pierde del agro-ecosistema. Por esta razón, un programa de manejo eficiente de N permite obtener incrementos significativos en la producción (Espinosa y García, 2008). Es común observar síntomas evidentes de la deficiencia de N en lotes comerciales de maíces jóvenes que presentan plantas de color verde amarillento de poco crecimiento. En plantas adultas, la deficiencia de N se presenta en las hojas maduras que pierden su color natural desde la punta hacia el limbo formando una “V” invertida de color amarillento, mientras que los márgenes de las hojas mantienen su color verde. A medida que la deficiencia se hace más severa se produce el secamiento de todas las hojas adultas afectando seriamente la producción final de grano.

¹ Director del Programa de Manejo de Suelos y Nutrición, FENALCE, Colombia. Correo electrónico: jgarcia@fenalce.org

² Director del International Plant Nutrition Institute, IPNI. Oficina para el Norte de Latinoamérica. Correo electrónico: jespinosa@ipni.net

Un paso fundamental de un programa de manejo eficiente de N es el reconocer, durante el ciclo de crecimiento, si el cultivo presenta exceso o déficit de este nutriente. El número de hileras por mazorca y el número de granos por hilera (que determinan la formación del número total de granos por mazorca) se definen durante las etapas vegetativas comprendidas entre V6 y V12 (Ritchie and Hanway, 1982).

El nivel nutricional, particularmente de N, que se presente durante este periodo es un importante regulador del número total de granos. El índice de verdor de las plantas depende en alta medida de la combinación entre el componente genético y el nivel de N absorbido. El objetivo del presente estudio fue determinar, en diferentes materiales genéticos, el índice de verdor para los estados fisiológicos comprendidos entre V6 y VT usando el MCF y la TCC (Witt et al., 2005) para evaluarlas como herramientas para manejo eficiente de N.

Materiales y métodos

Los ensayos se establecieron en los municipios de Obando, Buga, Bugalagrande, Bolívar, Montenegro, Concordia, Ibagué, San Juan, Espinal y Sabana de Torres en Colombia. El diseño estadístico utilizado fue de parcela dos veces dividida organizada en bloques completamente al azar con tres repeticiones. El tratamiento principal fue la densidad de plantas, 55.000 y 65.000 plantas ha⁻¹, el sub tratamiento fueron los híbridos de maíz (FNC 3056, FNC 514, FNC 114, DK 777, DK 234, SV 1127, P 30F83, DK 1040, DK 003, P 30F80) y el sub-sub tratamiento fueron cuatro niveles de N: 0, 75, 150 y 200 kg ha⁻¹. En la **Tabla 1** se describe la distribución de los híbridos utilizados en cada una de las localidades.

Tabla 1. Distribución por localidad de los híbridos de maíz utilizados en el estudio.

Localidad	Híbridos de Maíz									
	FNC 3056	FNC 514	FNC 114	DK 777	DK 234	SV 1127	P 30F83	DK 1040	DK 003	P 30F80
Obando			X					X	X	X
Buga	X	X		X	X	X	X	X	X	X
Bugalagrande	X	X		X	X	X	X			
Bolívar	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Montenegro	X	X		X	X	X	X			
Concordia	X	X		X	X	X	X	X	X	
Ibagué	X	X		X	X	X	X	X	X	
San Juan	X	X		X	X	X	X	X	X	
Espinal	X	X		X	X	X	X	X	X	
Sabana de Torres	X			X	X	X	X	X	X	

Se tomaron lecturas del índice de verdor desde el estado de crecimiento V6 hasta VT, en la hoja más joven completamente expandida, utilizando el MCF y la TCC. Para las lecturas realizadas con la TCC entre los paneles 2 y 5 (**Figura 4**) se asumieron valores intermedios de 0.25, 0.50 y 0.75. Se eliminaron las lecturas del MCF que reportaron valores superiores a 60 unidades SPAD. En cada parcela se tomaron cinco lecturas del MCF y la TCC.

Todas las parcelas recibieron una fertilización básica consistente en 100, 90, 50 y 60 kg ha⁻¹ de K₂O, P₂O₅, MgO y S, respectivamente. Las fuentes de potasio (K) fueron cloruro de potasio y sulpomag, las fuentes de fósforo (P) fueron superfosfato triple (para las parcelas de nivel 0N) y fosfato diamónico y la fuente de azufre (S) y magnesio (Mg) fue sulpomag. La fertilización básica se aplicó a la siembra en forma de banda incorporada.

El área de cosecha de cada sub-sub parcela fue de 4.8 m² (dos surcos centrales de 3 m de largo). El rendimiento de grano fue corregido al 15.5% de humedad y se calificó el porcentaje de desgrane en cada sub-sub parcela. Se evaluó la eficiencia agronómica de N (EAN) (kg de grano producidos por kg de N aplicado) tomando como base el rendimiento obtenido en las sub-sub parcelas de 0N, el que indica el rendimiento obtenido con el suplemento de N nativo del suelo, restando este valor del rendimiento para cada nivel de fertilización con N y dividiendo por la cantidad de N aplicado. La diferencia entre el rendimiento con cada nivel de N y el nivel de referencia se denominó la “respuesta”. El análisis estadístico se condujo utilizando PROC MIXED en el sistema SAS (SAS Inc., Cary, North Carolina).

Resultados

El análisis de varianza de los resultados experimentales de las diferentes localidades se presenta en la **Tabla 2**. La densidad de siembra no fue significativa, excepto en dos localidades y solamente con una de las variables relacionadas con el rendimiento. Por otro lado, las diferencias entre híbridos fueron significativas para todas las localidades y casi todas las variables analizadas, indicando las diferencias en el potencial de rendimiento obtenible controladas por la oferta ambiental. La producción de grano aumentó significativamente, en todas las localidades, con el incremento de N. La **Tabla 3** muestra los rendimientos de grano por híbrido y por dosis de N. El efecto simple del híbrido fue significativo en todas las localidades excepto en Obando. Los híbridos DK 003 en Buga y San Juan, P 30F83 en Montenegro e Ibagué, SV 1127 en Bugalagrande y Concordia, DK 1040 en Bolívar, FNC 514 en Espinal y DK 234 en Sabana de Torres obtuvieron rendimientos significativamente superiores a los restantes híbridos por localidad.

Tabla 2. Análisis de varianza por localidad del rendimiento de grano, eficiencia agronómica de nitrógeno e incremento de rendimiento (respuesta, diferencia de rendimiento entre la parcela con N y el de la parcela sin N) de los 10 híbridos de maíz evaluados en el estudio.

	-----Híbridos de Maíz-----																					
	D ²	H ³	N ⁴	D*H	D*N	N*H	D*H*N	D	H	N	D*H	D*N	N*H	D*H*N	D	H	N	D*H	D*N	N*H	D*H*N	
Buga		**	**							**							**					
Bugalagrande		**	**							**							**					
Bolívar		**	**							**			**				**			**		
Obando			**							**							**					
Montenegro		**	**														**					
Concordia		*	**		*	**											**		**	**		*
Sabana de Torres		**	**	**		**		**	**	**	*				**	**	**	**	**	**	**	**
Ibagué	*	**	**	**	**	**	**	**	**	**			**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
Espinal		**	**	**	**	**	**	**	**	**			**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
San Juan	*	**	**	**	**	**	**	**	**	**			**	**	**	**	**	**	**	**	**	**

1 EAN, Eficiencia Agronómica de Nitrógeno (kg de grano kg⁻¹ N aplicado)

2 Densidad

3 Híbrido

4 Nitrógeno

* Significancia al 5%

** Significancia al 1%

Tabla 3. Efecto de la dosis de N en el rendimiento de algunos híbridos comerciales sembrados en diferentes regiones de Colombia.

Híbrido	N kg ha ⁻¹	Buga	Bugala grande	Bolívar	Obando	Montenegro	Concordia	S. Torres	Ibagué	Espinal	San Juan
FNC 3056	0	6.21	4.42	4.98		5.17	6.07	1.88	2.24	3.96	5.39
	75	7.99	7.59	7.21		6.56	7.59	4.43	5.38	4.67	7.75
	150	8.20	7.74	8.09		8.67	8.44	5.28	6.82	5.15	8.24
	200	9.68	8.30	9.37		10.75	9.19	6.81	7.50	7.37	8.74
FNC 514	0	5.49	4.25			5.90	5.91		1.56	4.31	5.20
	75	7.33	7.06			6.69	7.50		4.40	6.05	7.05
	150	9.17	9.17			7.90	9.91		5.64	7.90	7.35
	200	10.12	8.85			9.66	10.27		6.87	8.31	7.88
FNC 114	0				1.76						
	75				5.59						
	150				7.67						
	200				8.23						
DK 777	0	6.07	4.24			3.91	7.70	2.05	2.58	4.28	5.24
	75	7.67	6.35			4.82	8.84	4.77	3.82	4.54	5.25
	150	8.05	7.69			5.54	10.05	6.36	4.46	5.78	6.84
	200	9.00	8.20			6.44	11.91	7.66	5.37	6.83	7.07
DK 234	0	6.29	4.97			4.39	6.69	2.31	1.67	5.18	4.93
	75	7.58	6.89			5.42	7.25	5.32	4.18	5.67	6.33
	150	8.36	7.46			6.48	9.27	6.91	6.15	6.30	7.16
	200	10.13	9.20			7.52	9.21	9.66	7.11	6.79	8.62
DK 1040	0	8.31		6.57	0.70		6.74	1.33	2.16	4.85	5.10
	75	9.35		7.68	5.71		7.61	3.70	4.96	5.50	7.28
	150	10.23		9.92	7.58		9.52	4.95	5.67	5.81	8.16
	200	11.39		10.92	9.83		10.35	5.96	6.49	6.30	9.00
DK 003	0	8.10		6.43	1.00		7.23	1.88	2.38	3.85	5.30
	75	9.90		8.65	6.34		8.93	3.26	4.03	4.43	8.00
	150	10.56		9.20	8.08		9.03	4.85	5.88	4.96	8.41
	200	10.92		9.48	8.71		11.24	5.23	7.23	5.46	9.00
P 30F80	0	6.29		4.65	1.35			3.05	2.87	4.15	5.51
	75	8.13		7.69	6.71			4.89	4.18	5.09	7.56
	150	9.59		7.97	7.74			6.61	4.52	6.32	7.84
	200	10.00		8.11	8.38			8.22	6.04	7.25	8.31
P 30F83	0	6.49	5.19			6.83	7.69		2.9	4.64	4.69
	75	7.54	8.36			8.14	9.43		5.21	5.02	7.29
	150	8.90	9.50			8.91	10.05		7.16	5.24	8.58
	200	10.07	9.26			10.3	9.81		8.14	5.54	9.05
SV 1127	0		5.38			5.19	7.36	1.83			
	75		8.67			6.48	8.81	4.94			
	150		9.06			7.10	10.69	5.81			
	200		9.72			8.83	12.91	7.08			

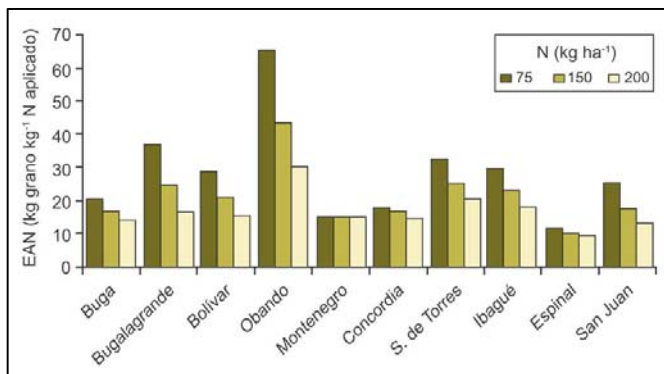


Figura 1. Efecto de la dosis en la eficiencia agronómica de N en diferentes localidades (promedio de los híbridos utilizados en cada localidad).

Las dosis de N afectaron significativamente la EAN (**Figura 1**) en todas las localidades excepto en Montenegro y Concordia. Los incrementos en la dosis de N redujeron los valores de EAN. En Obando se presentaron las mayores eficiencias por cada dosis de N, indicando que en este sitio existe un bajo suplemento de N nativo del suelo y en consecuencia una alta respuesta a la aplicación de este

nutriente. Al contrario, en Espinal se obtuvieron los valores de EAN más bajos, valores que no superaron los 11 kg de grano kg^{-1} N aplicado en ninguna de las dosis de N probadas. En todas las localidades, la respuesta en grano se vio afectada significativamente por la dosis de N, obteniéndose respuestas de hasta 13 t ha^{-1} en Concordia con la dosis de 200 kg de N ha^{-1} .

En Sabana de Torres, Espinal e Ibagué, los híbridos DK 234, FNC 514 y FNC 3056 presentaron valores de EAN de 34, 21 y 31 kg de grano por kg de N aplicado, respectivamente. En San Juan, el híbrido DK 777 presentó valores de EAN de 6 kg de grano kg^{-1} N aplicado.

El material genético y el N afectaron significativamente las lecturas con el MCF y la TCC en todas las localidades y en todas las etapas vegetativas. El incremento en las dosis de N aumentó los valores de las lecturas con el MCF y la TCC, sin embargo, la magnitud en los incrementos fue mayor cuando se aplicaron dosis de 75 y 150 kg de N ha^{-1} . Los incrementos obtenidos cuando se paso de 150 a 200 kg de N ha^{-1} fueron mínimos. Adicionalmente, los híbridos FNC 3056 y FNC 514 presentaron los valores más bajos en las lecturas con el MCF y la TCC cuando no se aplicó N y el híbrido DK 777 fue el que presentó los mayores valores en ausencia de N. Con las dosis altas de N, los híbridos DK 777 y DK 003 presentaron los valores más altos en unidades del MCF y de la TCC y los híbridos FNC 3056 y FNC 514 los más bajos.

Los valores de índice de verdor expresados en unidades del MCF y de la TCC para la localidad de Buga se presentan en la **Tabla 4** y las curvas de índice de verdor medidas con la TCC se presentan en la **Figura 2**.

Tabla 4. Efecto del material genético y la dosis de N en los valores de las lecturas con la TCC y el MCF (SPAD) en diferentes estados fisiológicos del maíz. Buga, Colombia, 2007.

Híbrido	N kg ha ⁻¹	Unidades TCC							Unidades SPAD						
		V6	V8	V10	V12	V14	V16	VT	V6	V8	V10	V12	V14	V16	VT
FNC 3056	0	3.00	3.00	3.25	3.50	3.25	3.00	2.75	36.2	36.8	37.7	38.2	37.6	35.2	33.6
	75	3.75	4.00	4.00	4.00	4.00	3.75	3.75	43.0	44.2	45.6	46.6	46.9	45.2	44.7
	150	4.00	4.25	4.25	4.25	4.50	3.25	4.00	48.4	48.9	49.0	48.6	53.1	50.2	48.7
	200	4.25	4.25	4.50	4.50	4.50	4.25	4.25	49.1	48.9	48.9	50.7	52.8	51.9	49.7
FCN 514	0	3.25	3.25	3.50	3.50	3.50	3.25	3.00	36.6	37.2	37.8	39.3	36.5	32.7	31.9
	75	3.75	3.75	4.00	4.00	4.25	4.00	3.75	42.8	43.5	44.7	47.0	48.4	47.2	46.1
	150	4.00	4.25	4.25	4.25	4.50	4.25	4.00	47.2	47.5	47.8	49.7	52.2	51.4	49.8
	200	4.25	4.25	4.50	4.50	4.50	4.25	4.25	48.9	49.2	50.6	49.7	51.7	51.0	50.9
DK 777	0	3.50	3.50	3.75	3.75	4.00	3.75	3.25	39.5	39.8	40.2	42.4	46.0	44.2	41.1
	75	4.00	4.00	4.00	4.25	4.50	4.25	4.00	45.3	46.7	47.0	51.2	53.6	52.8	51.4
	150	4.25	4.25	4.50	4.50	4.75	4.50	4.25	49.9	50.6	51.0	52.2	54.9	53.2	52.7
	200	4.25	4.25	4.50	4.50	4.75	4.50	4.50	51.2	51.9	52.8	52.8	55.9	54.9	53.8
DK 234	0	3.00	3.00	3.25	3.50	3.75	3.25	2.75	35.3	36.7	38.8	38.9	39.6	38.7	34.2
	75	3.75	3.75	4.00	4.25	4.50	4.25	4.00	42.1	44.2	45.3	47.9	50.7	48.7	47.1
	150	4.25	4.25	4.50	4.50	4.50	4.25	4.25	47.4	49.7	51.2	51.2	53.1	51.7	50.9
	200	4.25	4.25	4.50	4.75	4.50	4.50	4.25	50.3	51.0	52.8	53.5	53.7	52.1	51.0
DK 1040	0	3.25	3.25	3.50	3.75	4.00	3.50	3.00	38.7	39.1	40.6	43.0	42.6	41.4	41.0
	75	4.00	4.00	4.25	4.50	4.50	4.25	4.00	45.0	45.5	46.8	51.8	54.0	52.7	51.9
	150	4.25	4.25	4.50	4.50	4.75	4.50	4.25	49.5	48.3	49.0	54.4	55.4	53.7	52.7
	200	4.50	4.50	4.50	4.75	4.75	4.50	4.50	51.9	51.4	51.8	54.5	55.0	54.2	53.2
DK 003	0	3.50	3.50	3.75	3.75	4.00	3.50	3.25	37.6	38.5	39.6	42.0	42.4	40.0	38.7
	75	4.25	4.25	4.25	4.25	4.50	4.25	3.75	47.6	49.3	51.8	52.8	53.5	52.1	50.9
	150	4.50	4.50	4.50	4.50	4.75	4.50	4.00	52.5	53.0	53.8	55.2	57.0	56.4	53.2
	200	4.50	4.50	4.75	4.75	5.00	4.75	4.50	54.1	55.1	56.0	58.1	57.0	55.2	54.1
P 30F80	0	3.50	3.50	3.50	3.75	4.00	3.50	2.75	37.5	37.8	38.0	40.3	41.5	38.4	36.8
	75	4.00	4.00	4.25	4.25	4.50	4.25	4.00	45.4	46.1	46.9	50.7	52.7	51.0	48.7
	150	4.25	4.25	4.50	4.50	4.50	4.25	4.25	49.6	49.7	50.5	52.8	55.2	53.2	51.0
	200	4.25	4.25	4.50	4.50	4.50	4.50	4.25	50.8	52.4	53.7	53.7	54.3	53.2	52.0
P 30F83	0	3.50	3.50	3.50	3.50	3.75	3.25	2.75	37.7	38.1	39.1	40.3	40.7	40.0	37.6
	75	4.00	4.00	4.25	4.50	4.25	4.00	4.00	45.5	46.0	47.1	52.1	49.9	47.6	45.0
	150	4.25	4.25	4.50	4.50	4.50	4.25	4.25	50.5	51.0	51.8	54.8	51.3	51.0	49.0
	200	4.50	4.50	4.50	4.75	4.75	4.50	4.25	52.7	52.9	53.8	57.6	54.6	53.4	52.7
	D1							**	**	**					
	N3	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
	H2	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
	D*N	**		**					**	**	**	**			
	D*H			**											
	H*N			**		**						**			

¹Densidad

²Híbrido

³Nitrógeno

**Significancia al 1%

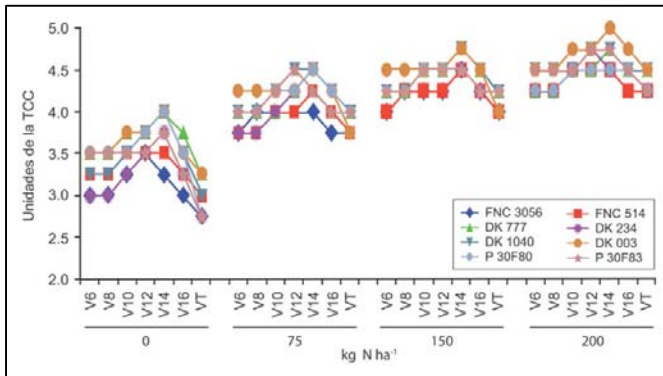


Figura 2. Efecto del material genético y de la dosis de N en la variación de unidades de lectura de la TCC en diferentes estados fisiológicos del maíz. Buga, Colombia, 2007.

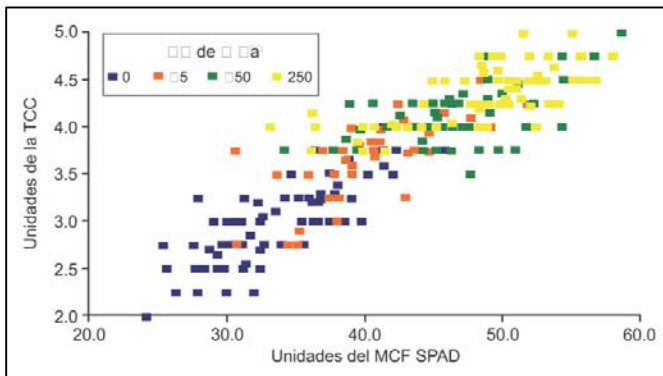


Figura 3. Correlación entre las unidades de lectura de la TCC y el MCF. Cada punto es el promedio de 10 lecturas.

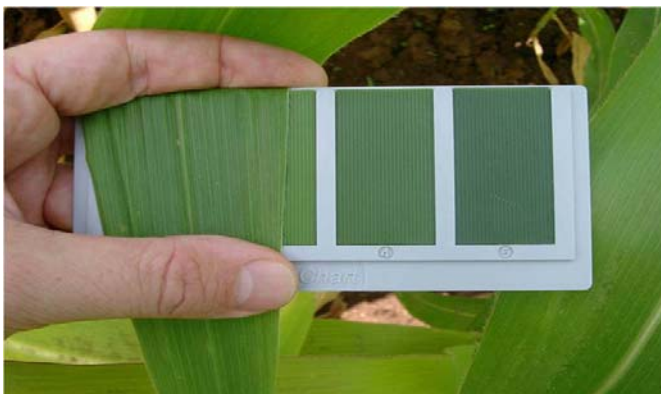


Figura 4. Tabla de Comparación de Colores (TCC) desarrollada por el IIRRI usada para medir el índice de verdor en maíz. Los valores intermedios entre unidades se estiman en intervalos de 0.25 unidades de cada panel.

La tendencia de las curvas para cada una de las medidas de índice de verdor fue similar, alcanzando los valores máximos entre las etapas vegetativas comprendidas entre V12 y V14 y mínimas entre VT y V6. Sin embargo, la magnitud de los valores fue diferente para cada material genético.

En general, la correlación entre los valores de las lecturas con el MCF y la TCC es alta como se observa en la **Figura 3**, indicando que la TCC es una herramienta válida en el diagnóstico del índice de verdor del cultivo del maíz. Las lecturas del índice de verdor pueden entonces utilizarse como herramienta de apoyo para ajustar las aplicaciones fraccionadas de N durante el periodo de mayor sensibilidad al estrés por falta de N que se ubica entre los estados fenológicos de V6 y V12.

Datos de estudios de fraccionamiento de N conducidos en Colombia han demostrado que se logra mayor eficiencia de uso de N aplicando 20% del N a la siembra, 40% a V6 y 40% a V10. Usando la TCC de colores se puede ajustar la cantidad de N a aplicarse, si la lectura a V6 es mayor a 4 se debe aplicar la cantidad de N definida y que corresponda al 40% del total de N, lo mismo sucede a V10 si la lectura de la TCC es más de 3.5. Si las lecturas con la TCC son menores a 4.0 en V6 y menos que 3.5 en V10 es aconsejable utilizar un 10% más de la cantidad de N requerida para esa aplicación.

Conclusiones

El conocimiento del estado nutricional del maíz, particularmente el del N, en las diferentes etapas vegetativas del cultivo es importante para el productor que desea utilizar el N aplicado con los fertilizantes en forma eficiente. Las lecturas del índice de verdor utilizando la TCC en las etapas más susceptibles a estrés por falta de N (V6 a V12) permiten afinar la dosis de N a ser aplicada y consecuentemente incrementa la EAN. En este periodo es cuando se determinan el número de hileras por mazorca y el número de granos por hilera, factores determinantes en la producción final del cultivo. En general, índices de verdor superiores a 4 indican suficiencia de N y valores iguales o superiores a este en el estado vegetativo V12 garantizan rendimientos altos si las condiciones climáticas son adecuadas en los estados reproductivos comprendidos entre R1 y R3, etapas donde se determina el peso final del grano.

Bibliografía

- Espinosa, J., and J.P. García. 2008. High fertilizer prices: what can be done. *Better Crops* 92(3):8-10.
- Ritchie, S.W., and J.J. Hanway. 1982. How a corn plant develops. Iowa State University of Science and Technology, Cooperative Extension Service, Ames, Iowa.
- Witt, C., J.M.C.A. Pasuquin, R. Mutters, and R.J. Buresh. 2005. New leaf color chart for effective nitrogen management in rice. *Better Crops With Plant Food* 89(1):36-39.
-