

ARTÍCULO CIENTÍFICO

Relationship between leaf nitrogen and chlorophyll content in corn found in pastures in the Llanos Foothills of Colombia

Relación entre nitrógeno foliar y el contenido de clorofila, en maíz asociado con pastos en el Piedemonte Llanero colombiano

Álvaro Rincón Castillo¹, Gustavo Adolfo Ligarreto²

ABSTRACT

In the piedmont of Colombia, an association between maize and the grasses *Brachiaria decumbens* Stapf., *Brachiaria* Mulato hybrid, *Brachiaria brizantha* cv. Toledo was established as a means of renewing a degraded pasture, using a nitrogen fertilization of 100 and 200 kg ha⁻¹. To estimate the leaf nitrogen in the maize and grass, we compared the laboratory kjeldahl method and the measurement of the greenness index using a clorofilometro, Minolta SPAD[®] 502 (rapid non-destructive method). The evaluation at the beginning of flowering in the maize (35 days after planting) had a coefficient of determination (r^2) of 0.79 in the maize and in the grass, while at the beginning of grain filling (60 days after planting) an r^2 of 0.92 was recorded in the maize and 0.96 in the grass, indicating a good relationship between leaf N and the clorofilometro greenness index. At doses of 200 kg ha⁻¹ N, the chlorophyll content was significantly higher with 51.6 SPAD units in the leaves of the corn, but grain yield was similar between 100 and 200 kg ha⁻¹ N with a yield of 5.2 t ha⁻¹.

Keywords: agropastoral system, forage, maize production, fertilization, SPAD

RESUMEN

En el piedemonte llanero colombiano, se estableció la asociación de maíz con los pastos *Brachiaria decumbens* Stapf., *Brachiaria* híbrido Mulato, *Brachiaria brizantha* cv. Toledo como medio para renovar una pastura degradada, utilizando una fertilización nitrogenada de 100 y 200 kg ha⁻¹. Para estimar el nitrógeno foliar en el maíz y los pastos, se comparó el método de laboratorio Kjeldahl y la medición del índice de verdor con el clorofilometro Minolta[®] SPAD 502 (método rápido y no destructivo). La evaluación al inicio de la floración del maíz (35 días después de la siembra) presentó un coeficiente de determinación (r^2) de 0,79 en el maíz como en el pasto, en tanto que al inicio del llenado del grano (60 días después de la siembra) fue del 0,92 en el maíz y 0,96 en los pastos indicando una buena relación entre el N foliar y el índice de verdor del clorofilometro. En la dosis de 200 kg ha⁻¹ de N, el contenido de clorofila fue superior significativamente con 51,6 unidades SPAD en las hojas del maíz; sin embargo, el rendimiento de grano de maíz fue similar entre 100 y 200 kg ha⁻¹ de N con un rendimiento de 5,2 t ha⁻¹.

Palabras clave: sistemas agropastoriles, forraje, producción de maíz, fertilización, SPAD.

INTRODUCCIÓN

El uso eficiente de nitrógeno requiere de la detección previa de su deficiencia y del potencial de respuesta económica a la aplicación de los fertilizantes (Attanandana y Yost, 2003). El maíz necesita alrededor de 20 a 25 kg ha⁻¹ de N por cada tonelada de grano producida (Sánchez, 1976). La eficiencia de conversión de fertilizante nitrogenados a forraje de gramíneas forrajeras tropicales puede alcanzar valores promedios de 26 kg ha⁻¹ MS por kg de N aplicado. Las mayores eficiencias se han obtenido con dosis de nitrógeno 150 kg ha⁻¹. La respuesta en la producción de forraje a la fertilización con N depende de la especie forrajera, de los niveles de otros nutrientes en el suelo, del manejo del pastoreo y de las características de clima y suelo de la región (Júnior *et al.*, 2004).

Para conocer el contenido de N total en la planta existen algunas metodologías, dentro de las cuales la técnica más

Fecha de recepción 2010-05-12
Fecha de aceptación 2010-07-22

¹ Red de Pastos y Forrajes, Centro de Investigación La Libertad, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - Corpoica. Villavicencio, Colombia. arincon@corpoica.org.co

² Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia. galigarretom@unal.edu.co

usada es la de Kjeldahl (Bremmer y Mulvaney, 1982). Para la aplicación de esta técnica se requiere de equipo, reactivos y tiempo que hace la determinación costosa y dispendioso sin contar la mano de obra que se requiere para la toma de muestras en el campo.

Una forma para determinar el nitrógeno foliar en forma rápida, es mediante el medidor de clorofila Minolta® SPAD 502 (Soil PLant Análisis Development) que mide el índice de verdor, el cual está directamente relacionado con el contenido de clorofila en las hojas de la planta. Este equipo portátil permite evaluar indirectamente y en forma no destructiva el contenido de clorofila en la hoja por medio de la luz transmitida a través de la hoja en 650 nm y 940 nm. Su utilización ha dado resultados satisfactorios en cuanto a la evaluación del estado nutricional de N en varios cultivos (Sainz y Echeverría, 1998; Caires *et al.*, 2005).

La clorofila en la hoja está estrechamente relacionada con la concentración de N y por lo tanto, refleja el estado nutricional con respecto a este importante nutriente. El N es necesario para la síntesis de la clorofila y como parte de esta molécula, está involucrado en el proceso de la fotosíntesis (Salisbury y Ross, 1992; Potash and Phosphate Institute, 1997). Cantidades adecuadas de N en la planta, producen hojas de color verde oscuro debido a que estas tienen alta concentración de clorofila. El pigmento verde de la clorofila absorbe la energía de la luz necesaria para iniciar la fotosíntesis.

En las plantas de maíz, el contenido de N foliar y el contenido de clorofila medido mediante el clorofilómetro SPAD 502 están positivamente correlacionadas, excepto en los estados iniciales de desarrollo del maíz. En situaciones en que la disponibilidad de N es grande, las lecturas del contenido de clorofila con SPAD 502 y el N foliar son poco correlacionadas, por que el potencial del sistema fotosintético ya se encuentra convirtiendo la energía lumínica en energía química y el excedente de N se encuentra formando parte de otros compuestos de reserva (Argenta *et al.*, 2001, Bullock y Anderson, 1998, Zotarelli *et al.*, 2003). En busca de una metodología más sencilla para determinar el contenido de nitrógeno, en dos etapas importantes en el desarrollo del maíz, al inicio de la floración y el llenado de grano asociado con pastos, se utilizó el clorofilómetro Minolta® SPAD-502 y la información obtenida se correlacionó con el contenido de N total determinado mediante técnica de kjeldahl y se determinó su relación con el rendimiento de grano de maíz.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se desarrolló en un Oxisol de terraza media del Centro de Investigaciones La Libertad (Corpoica),

ubicado 9° 6' N y 73° 34' W, Villavicencio (Colombia), 330 msnm, precipitación anual promedio de los últimos 30 años ha sido de 2.900 mm, la temperatura promedio 26°C y 85% HR en la época lluviosa y 65% en la época seca. Los suelos son muy ácidos (tabla 1) con una saturación de aluminio de 71,7%, saturación de bases 24,7%. Los nutrientes más deficientes fueron fósforo, calcio y magnesio.

Tabla 1. Características químicas del suelo. CI La Libertad (Corpoica), Piedemonte Llanero (Colombia)

| Parámetro | Valor |
|----------------------------|-------|
| pH | 4,4 |
| MO (%) | 2,4 |
| P (mg kg ⁻¹) | 1,0 |
| Ca (me/100g) | 0,37 |
| Mg (me/100g) | 0,11 |
| K (me/100g) | 0,10 |
| Na (me/100g) | 0,26 |
| Al (me/100g) | 2,10 |
| Fe (mg kg ⁻¹) | 126 |
| B (mg kg ⁻¹) | 0,15 |
| Cu (mg kg ⁻¹) | 0,80 |
| Zn (mg kg ⁻¹) | 0,50 |
| CIC efectiva | 3,44 |
| Saturación de bases (%) | 24,70 |
| Saturación de aluminio (%) | 71,70 |
| Saturación de calcio (%) | 12,50 |
| Saturación de magnesio (%) | 3,70 |
| Saturación de potasio (%) | 3,36 |

En una pastura degradada se estableció en forma simultánea, el cultivo de maíz híbrido master en asociación con los pastos *Brachiaria* híbrido Mulato, *Brachiaria brizantha* cv. Toledo y *B. decumbens*. El maíz cv. master es un híbrido de alta producción de grano amarillo en condiciones de los Llanos Colombianos, y una de sus principales características es la resistencia al volcamiento por los tallos gruesos y fuertes. Los pastos cv. Mulato y Toledo son materiales de alta producción y calidad nutritiva que se adaptan a suelos de mejor fertilidad, en tanto que el *B. decumbens* es una variedad con buena adaptación a suelos ácidos y de mayor difusión en la Orinoquía Colombiana.

La renovación de la pastura con la asociación maíz-pastos, se hizo por el mejoramiento de la fertilidad de los suelos que se obtiene, debido a las enmiendas y fertilizantes aplicados al maíz, que posibilita la introducción de especies forrajeras de alto potencial productivo para sistemas intensivos de producción animal y por el beneficio económico que se obtiene con el grano de maíz producido, en la reducción de los costos ocasionados en la renovación de pasturas.

Para poder detectar diferencias en el contenido de N foliar del maíz asociado con pastos, se evaluaron las dosis de 100

y 200 kg ha⁻¹ N aplicados en forma fraccionada al surco de maíz, a los 15 y 35 días después de la siembra.

Diseño experimental

Los tratamientos se distribuyeron en bloques completos al azar en arreglo de parcelas divididas con tres repeticiones, donde la parcela principal estuvo constituida por la gramínea forrajera (3 ha) y la subparcela los niveles de nitrógeno (1 ha).

Tratamientos

El cultivo de maíz se estableció en asocio con los pastos y con dos niveles de N, bajo los siguientes tratamientos:

Maíz en asocio *Brachiaria* cv. Mulato + 100 kg ha⁻¹ N
 Maíz en asocio *Brachiaria* cv. Mulato + 200 kg ha⁻¹ N
 Maíz en asocio *B. brizantha* cv. Toledo + 100 kg ha⁻¹ N
 Maíz en asocio *B. brizantha* cv. Toledo + 200 kg ha⁻¹ N
 Maíz en asocio *B. decumbens* + 100 kg ha⁻¹ N
 Maíz en asocio *B. decumbens* + 200 kg ha⁻¹ N

Establecimiento del experimento

La labranza se inició con un pase de rastra con el fin de reducir la cobertura de pasto y brindar mejores condiciones por la acción del cincel rígido (profundidad entre 20 y 25 cm). Posteriormente se aplicó, una mezcla de cal dolomítica, roca fosfórica y yeso agrícola por medio de una enclavadora y luego se incorporó con un pase de rastra.

Las enmiendas y fertilizantes se aplicaron, teniendo en cuenta los resultados del análisis químico de los suelos y las exigencias nutricionales del maíz en suelos ácidos. La cal dolomítica, la roca fosfórica y el yeso agrícola, se usaron como enmienda para reducir la saturación de aluminio y mejorar la saturación de bases por las deficiencias de calcio, fósforo, magnesio y azufre. Estos tres insumos de lenta solubilidad fueron mezclados y aplicados 45 días antes de la siembra.

La fertilización que se aplicó a la asociación maíz-pastos fue a razón de 1.500 kg ha⁻¹ de cal dolomítica (399 kg de Ca; 88,5 kg de Mg), 400 kg ha⁻¹ de roca fosfórica (50 kg de P; 99,6 kg de Ca), 300 kg ha⁻¹ de yeso agrícola (55 kg de Ca; 44,4 kg de S), 150 kg ha⁻¹ fosfato diamónico (29 kg de P, 27 kg de N), 150 kg ha⁻¹ de cloruro de potasio (75 kg de K), 20 kg ha⁻¹ de Borozinco (3.000 g de Zn, 100 g de Cu, 500 g de B y 1.200 g de S). La dosis por hectárea fue de 555 kg de Ca, 88 kg de Mg, 79 kg de P, 75 kg de K y 44 de S.

La fertilización nitrogenada se aplicó en forma fraccionada a los 15 y 35 días después de la siembra, en partes iguales. En el momento de la siembra se aplicó a todos los tratamientos 27 kg ha⁻¹ de N contenidos en los 150 kg ha⁻¹ de DAP.

El maíz se estableció con una densidad de siembra de 22 kg ha⁻¹ en surcos separados a 80 cm con 5 a 6 plantas por metro lineal, con una maquina sembradora-abonadora, la cual depositó la semilla a una profundidad promedio de 3 cm y el fertilizante de establecimiento (fósforo + potasio + zinc) a una profundidad promedio de 5 cm. Las gramíneas forrajeras se sembraron inmediatamente después de la siembra del maíz con otra sembradora en surcos separados a 50 cm con una densidad de siembra de 4 kg ha⁻¹, en sentido perpendicular a la siembra del maíz.

Determinación de clorofila y nitrógeno foliar

Se realizó la valoración del contenido de clorofila en todas las hojas de maíz y en tres sitios de cada hoja, en el momento de la floración, mediante el clorofilómetro Minolta® SPAD 502.

Se determinó el contenido de N foliar mediante el método de Kjeldahl y el contenido de clorofila medido mediante el clorofilómetro Minolta® SPAD 502, al inicio de la floración (a los 35 días después de la siembra) y en el momento de inicio de llenado de grano (a los 60 días después de la siembra).

Se estableció la relación entre el contenido de clorofila en el maíz, medido en el momento de la floración, y la producción de grano de maíz a los 120 días después de la siembra.

La información obtenida fue analizada mediante el paquete estadístico SAS (Statistical Analysis System) versión 9. Los resultados se sometieron a análisis de varianza para determinar la significancia y la comparación de medias se determinó mediante la prueba de rango múltiple de Tukey. Los coeficientes de determinación y regresión se calcularon mediante el programa Excel®.

RESULTADOS

Contenido de clorofila en las hojas de la planta de maíz

Para determinar la distribución de la clorofila en la planta de maíz y tener mayor certeza de las hojas que se deben tener en cuenta para futuras evaluaciones con el clorofilómetro Minolta® SPAD 502 se realizaron mediciones en todas las hojas de la planta, encontrándose los contenidos de clorofila más altos significativamente ($P \leq 0,05$), en el tercio medio, integrado por el grupo de hojas desde la 6 hasta la 13. Estos valores se presentaron en un rango de 50 a 54 unidades SPAD, obteniéndose los más altos en las hojas 10 y 11. Estos contenidos de clorofila coinciden con lo reportado por Novoa y

Villagran (2002), Sainz y Echeverría (1998), quienes determinaron que un valor adecuado de clorofila para un buen rendimiento de grano de maíz debe ser superior a las 50 unidades SPAD en estas hojas. Ellos reportaron como valor crítico para el maíz 35,3 unidades SPAD que equivale a 1,83% de N en la planta, valores que resultaron ser similares a los encontrados por Pantaleón y Ocon (2008) en sorgo.

Los valores de clorofila más bajos (30 a 48 unidades SPAD) se encontraron en el tercio inferior y superior de la planta. En el tercio inferior correspondiente a las hojas bajas incluyendo la quinta hoja que se encontraban en proceso de senescencia y el tercio superior correspondientes a las hojas 14 a 17, estaban en proceso de formación. El N es uno de los elementos más móviles en la planta, con beneficio a la mazorca en formación, por la buena disponibilidad de este nutriente en las hojas 7 a 9, sitio donde se desarrolla la mazorca, con valores superiores a 50 unidades SPAD (figura 1).

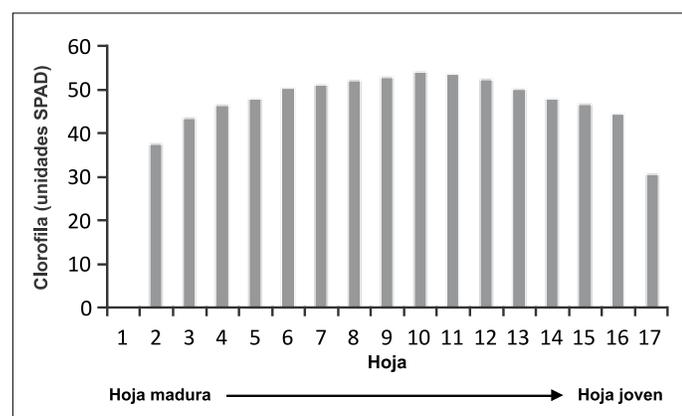


Figura 1. Contenido de clorofila (unidades SPAD) en las hojas de la planta de maíz asociado con pastos, al inicio de la floración (35 días). CI La Libertad (Corpoica), Piedemonte Llanero (Colombia)

Estos resultados permiten concluir que las evaluaciones con el clorofilómetro Minolta® SPAD 502 pueden hacerse en las hojas del tercio medio de la planta de maíz. En estas hojas desarrolladas y expandidas, sólo una pequeña fracción de los productos de la fotosíntesis permanecen en el sitio de producción y la mayoría son translocados a otros sitios de la planta. Los coeficientes de reparto de la materia seca entre los distintos órganos varía continuamente durante en crecimiento de la planta. Las exportaciones de los productos asimilados son dirigidas principalmente hacia los centros de crecimiento activo y posteriormente hacia la mazorca (Santibáñez y Fuenzalida, 1989; Echeverría y Sainz, 2001).

Para determinar la concentración de clorofila en toda la lámina foliar del maíz se realizaron mediciones en la base, mitad y parte superior de cada hoja. Se encontró

en el tercio inferior o base de la hoja que el contenido de clorofila fue superior en forma significativa ($P \leq 0,05$), desde la hoja 6 hasta la 13, con valores de 49,7 a 55 unidades SPAD. En tanto, en el tercio medio de la hoja el contenido de clorofila fue superior entre las hojas 4 y 13, en un rango de 49 a 54,4 unidades SPAD. En el tercio superior o ápice de la hoja los mejores resultados se encontraron entre las hojas 7 y 14, con 48,6 a 53,6 unidades SPAD (tabla 2). Por consiguiente, la concentración de clorofila superior a 50 unidades SPAD en los tres tercios de la hoja simultáneamente, se presentó desde la hoja 7 hasta 13, con valores promedios de 52,5; 53,1 y 52 unidades SPAD en la base, mitad y ápice, respectivamente. La uniformidad en estos valores permite concluir que las evaluaciones pueden realizarse en cualquier parte de la hoja en el tercio medio de la planta. No se ha encontrado información sobre evaluaciones en estas hojas, sin embargo, Novoa y Villagrán (2002) evaluando híbridos de maíz en Chile y encontraron en la quinta hoja 51 unidades SPAD a los 50 días después de la emergencia, que coincide con los valores encontrados en la sexta hoja en condiciones del Piedemonte Llanero.

Tabla 2. Contenido de clorofila (unidades SPAD) en hojas de maíz y en los tres tercios de cada hoja, en el momento de floración. CI La Libertad (Corpoica), Piedemonte Llanero (Colombia)

| Hoja | Contenido de clorofila en maíz (unidades SPAD) | | |
|--------|--|------------------|---------------|
| | Base de hoja | Mitad de la hoja | Ápice de hoja |
| 2 | 37,1 f | 38,7 de | 36,8 g |
| 3 | 43,3 e | 45,1 c | 42,1 f |
| 4 | 46,3 dec | 49,0 abc | 44,0 ef |
| 5 | 47,3 bdec | 50,7 ab | 46,3 cdef |
| 6 | 49,7 abc | 52,7 a | 49,4 bcde |
| 7 | 51,2 abc | 52,7 a | 50,0 abcd |
| 8 | 51,4 abc | 53,5 a | 51,6 abc |
| 9 | 52,2 ab | 54,4 a | 52,3 abc |
| 10 | 55,0 a | 54,0 a | 53,4 ab |
| 11 | 54,5 a | 52,9 a | 53,6 a |
| 12 | 52,4 ab | 52,4 a | 52,5 ab |
| 13 | 51,2 abc | 49,0 abc | 50,8 abcd |
| 14 | 48,7 bcde | 46,8 bc | 48,6 abcde |
| 15 | 48,3 bcde | 45,0 c | 47,4 bcdef |
| 16 | 44,7 de | 43,6 dc | 45,1 def |
| 17 | 28,3 g | 33,8 e | 30,1 h |
| CV (%) | 10,9 | 11,2 | 11,8 |

Promedios con letras distintas en la misma columna, indican diferencia significativa según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$)

Con relación al efecto de los pastos sobre el contenido de clorofila en las hojas de maíz se encontró que el maíz asociado con *B. decumbens* y cv. Mulato, presentó el mayor contenido de clorofila en los tres tercios de la hoja de maíz con 50 a 51 unidades SPAD. El contenido de clorofila en el maíz asociado con cv. Toledo sólo fue

inferior ($P \leq 0,05$) en el tercio inferior de la hoja con 49,8 unidades SPAD.

Los tratamientos de la asociación de maíz con pastos fertilizados con 100 y 200 kg ha⁻¹ de N, presentaron diferencias significativas ($P \leq 0,05$) en el área foliar del maíz, a favor del de la fertilización nitrogenada 200 kg ha⁻¹, con un valor superior a 50 unidades SPAD comparado a 100 kg ha⁻¹ con 49 unidades SPAD (tabla 3).

Tabla 3. Contenido de clorofila (unidades SPAD) en tres tercios de la hoja de la planta de maíz en asocio con pastos y dos niveles de N (100 y 200 kg ha⁻¹), en el momento de la floración. CI La Libertad (Corpoica), Piedemonte Llanero (Colombia)

| Maíz en asocio y niveles de N | Contenido de clorofila (unidades SPAD) | | |
|-------------------------------|--|---------------|---------------|
| | Base de hoja | Mitad de hoja | Ápice de hoja |
| <i>B. decumbens</i> | 50,9 a | 51,6 a | 50,1 a |
| Mulato | 50,2 ab | 50,1 b | 50,0 a |
| Toledo | 49,8 b | 51,2 a | 49,9 a |
| Nitrógeno | | | |
| 100 kg ha ⁻¹ | 49,1 b | 49,4 b | 48,4 b |
| 200 kg ha ⁻¹ | 51,5 a | 52,5 a | 50,9 a |
| CV (%) | 10,9 | 11,2 | 11,7 |

Promedios con letras distintas en la misma columna, indican diferencia significativa según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$)

Relación entre contenido total de nitrógeno y contenido de clorofila en las hojas de maíz y de pasto

Los datos obtenidos con el medidor de clorofila Minolta® SPAD 502, a las edades de 35 y 60 días, en las plantas de maíz y del pasto, se relacionaron con los contenidos de N foliar del maíz y del pasto durante estas mismas épocas determinado mediante Kjeldahl (tabla 4). El contenido de clorofila a los 35 y 60 dds en las hojas de maíz, no presentó diferencias significativas ($P \leq 0,05$) en las asociaciones con los pastos *B. decumbens*, Mulato y Toledo, cuyos valores promedios fueron de 50,4 y 50,8 unidades SPAD, respectivamente. En los pastos, se encontraron valores más bajos respecto a los encontrados en el maíz, no obstante, cv. Mulato fue superior a los otros dos pastos con valores de 48,8 y 44,1 Unidades SPAD a los 35 y 60 dds, respectivamente. Tal como lo observado en el contenido de N foliar, en el maíz se presentó poca variación en las dos épocas, en cambio en los pastos presentó reducción a los 60 dds tanto en el N foliar y unidades SPAD.

Se encontró una buena relación entre el N foliar y el contenido de clorofila en el maíz y en el pasto, especialmente en el momento del llenado de grano. Esto fue comprobado por los coeficientes de determinación (r^2) cuyos valores demuestran que a la edad de 35 días, un 79% de la variación en el N foliar en las hojas del maíz y

Tabla 4. Relación entre el contenido de clorofila (unidades SPAD) y el nitrógeno foliar de maíz y de pasto a los 35 y 60 después de establecidos en asociación. CI La Libertad (Corpoica), Piedemonte Llanero (Colombia)

| En hojas de maíz asociado con los pastos | A los 35 días (inicio floración) | | | A los 60 días (inicio llenado de grano) | | |
|--|----------------------------------|--------|-------|---|--------|-------|
| | N foliar (%) | SPAD | r^2 | N foliar (%) | SPAD | r^2 |
| <i>B. decumbens</i> | 2,90 a | 50,8 a | 0,79 | 2,60 a | 51,2 a | 0,96 |
| Mulato | 2,66 b | 50,1 a | | 2,53 a | 49,6 a | |
| Toledo | 2,83 ab | 50,3 a | | 2,65 a | 51,7 a | |
| CV (%) | 4,9 | 11,8 | | 5,6 | 13,5 | |
| En las hojas de los pastos | | | | | | |
| <i>B. decumbens</i> | 2,91 b | 44,5 b | 0,79 | 2,40 ab | 39,3 b | 0,92 |
| Mulato | 3,31 a | 48,8 a | | 2,58 a | 44,1 a | |
| Toledo | 3,20 ab | 45,8 b | | 2,30 b | 38,7 b | |
| CV (%) | 6,8 | 14,2 | | 6,7 | 10,6 | |

Promedios con letras distintas en la misma columna, indican diferencia significativa según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$)

el pasto, puede ser explicada por el valor obtenido con el clorofilómetro y expresado en unidades SPAD. A los 60 dds este valor fue de 96 y 93% en el maíz y los pastos, respectivamente.

Los contenidos adecuados de N en las hojas determinado mediante Microkendjal y el clorofilómetro, indican una buena disponibilidad de N, producto de la translocación de las reservas del tallo principalmente, donde es almacenado, para luego ser aprovechado en épocas de llenado de grano. Se ha encontrado que entre el 20 a 60% del N total del grano es translocado antes de la antesis (Laffite, 2002).

En otros trabajos se ha encontrado una alta correlación entre el contenido de N foliar y las mediciones de la clorofila tomadas en la quinta hoja, valores de 49 y 51 unidades SPAD a los 32 y 50 días después de la emergencia, respectivamente, se consideran necesarios para alcanzar el 95% del rendimiento máximo. Valores SPAD inferiores a 35 estarían indicando la necesidad de aplicar N (Novoa y Villagrán 2002, Imsande, 1998).

Relación entre contenido de clorofila en las hojas y rendimiento de grano de maíz

El contenido promedio de clorofila en las hojas del maíz en el momento de la floración fue de 50,4 unidades SPAD, sin presentarse diferencia alguna en las asociaciones del maíz con los tres pastos. Igual respuesta se obtuvo en la producción de maíz obteniéndose un promedio de 132 g/planta (tabla 5).

Tabla 5. Rendimiento de maíz en las plantas a las que se les evaluó clorofila (SPAD) en el momento de la floración. CI La Libertad (Corpoica), Piedemonte Llanero (Colombia)

| Maíz asociado con los pastos | Clorofila (unidades SPAD) | Peso de granos (g/planta) | Rendimiento (t ha ⁻¹) |
|------------------------------|---------------------------|---------------------------|-----------------------------------|
| <i>B. decumbens</i> | 50,8 a | 134,4 a | 5,37 a |
| Mulato | 50,1 a | 129,5 a | 5,18 a |
| Toledo | 50,3 a | 133,8 a | 5,35 a |
| Nitrógeno | | | |
| 100 kg ha ⁻¹ | 48,9 b | 129,6 a | 5,18 a |
| 200 kg ha ⁻¹ | 51,6 a | 134,8 a | 5,39 a |
| CV (%) | 11,4 | 19,0 | 19,0 |

Promedios con letras distintas en la misma columna, indican diferencia significativa según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$)

Se ha calculado que para la producción de 1 t ha⁻¹ de grano se requiere de 20 kg de N disponible, es decir, que para lograr una producción de 5 t ha⁻¹ de grano es necesario tener una disponibilidad en el suelo de 100 kg ha⁻¹, siempre y cuando no haya limitantes de los demás nutrientes y demás factores de producción. En este experimento los rendimientos de maíz no se vieron afectados por los dos niveles de N utilizados (100 y 200 kg ha⁻¹), aunque en el contenido de clorofila se presentaron diferencias significativas, entre 48,9 unidades SPAD en la dosis 100 kg ha⁻¹ y 51,6 con 200 kg ha⁻¹. Estos valores de clorofila estuvieron muy cerca al valor de 50 unidades SPAD, lo que indica que las plantas no presentaron deficiencia de N, por lo tanto los rendimientos de maíz fueron de 5,18 y 5,39 t ha⁻¹ sin llegar a ser diferentes en forma significativa al utilizar 100 o 200 kg ha⁻¹ de N en la fertilización, respectivamente. La falta de respuesta a la mayor dosis de N aplicada al maíz, puede ser debida a factores climáticos en los días de la fertilización

nitrogenada: el día 8 y 28 de septiembre de 2007 cuando se hizo la aplicación de la urea (15 y 35 dds) la precipitación no superó los 7 mm. Fox *et al.* (1986) informan que es necesario la ocurrencia de una precipitación superior a 10 mm para que la urea sea incorporada en el perfil del suelo, de lo contrario ocurre la volatilización en forma de NH₃. Las condiciones de humedad del suelo y la temperatura diurna de 31°C durante este mes pudieron contribuir a la volatilización de la urea, ocasionando pérdidas de N que no alcanzó a ser tomado por las plantas. En otros estudios se ha comprobado que al aplicar altos niveles de N no se presentan diferencias en producción de maíz solo o en asocio con pastos, sin embargo, se reduce la eficiencia de este nutriente y se incrementa las pérdidas en formas de NO₃ o NH₄ (Bundy y Andraski, 2005; Wachendorf *et al.*, 2006; Zhao *et al.*, 2006).

CONCLUSIONES

- Las evaluaciones con el medidor de clorofila Minolta® SPAD 502 se pueden hacer en las hojas del tercio medio de la planta de maíz desde la hoja 6 hasta la 13 y en cualquier parte de la hoja.
- Hay una buena correlación entre el N foliar determinado por Kjeldahl y entre el contenido de clorofila medido con el medidor de clorofila Minolta® SPAD 502, especialmente en el momento del llenado de grano de maíz.
- El medidor de clorofila Minolta® SPAD 502 detectó diferencias en el contenido de clorofila en plantas de maíz fertilizadas con 100 y 200 kg ha⁻¹ de N. Sin embargo, los niveles no presentaron diferencias en la producción de maíz, ya que los rendimientos fueron similares con las dos dosis evaluadas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Argenta G, Ferreira P, Bortolini C, Forsthofer EL, Strieder ML. 2001. Relação da leitura do colorímetro com os teores de clorofila extraível e de nitrogênio na folha de milho. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal* 13(2):134-139.
- Attanandana T, Yost RS. 2003. A site specific nutrient management approach for maize. *Better Crops International* 17:3-7.
- Bremmer LM, Mulvaney CS. 1982. Total nitrogen. En: Page R, Miller H, Keeney DR (eds.). *Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties*. 2nd ed. ASA; SSA. Madison, USA. pp. 595-634.
- Bullock DG, Anderson DS. 1998. Evaluation of the Minolta SPAD 502 chlorophyll meter for nitrogen management in corn. *Journal of Plant Nutrition* 21:741-755.
- Bundy LG, Andraski TW. 2005. Recovery of fertilizer nitrogen in crop residues and cover crops on an irrigated sandy soil. *Soil Science Society of America Journal* 69:141-147.
- Caires NOS, Guedes de Carvalho J, Dias MFA, Pereira TR, Pinho PJ. 2005. Uso do SPAD 502 na avaliação dos teores foliares de clorofila, nitrogênio, enxofre, ferro e manganês do algodoneira herbácea. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 40(5):71-87.
- Echeverría H, Sainz R. 2001. Eficiencia de recuperación del nitrógeno aplicado al estadio de seis hojas del maíz bajo riego en siembra directa y labranza convencional. *Ciencia del Suelo* 19(1):57-66.
- Fox RH, Kern JM, Piekielek WP. 1986. Nitrogen fertilizer source and method and time of application effects on no-till corn yield and nitrogen uptakes. *Agronomy Journal* 78:741-746.
- Imsande J. 1998. Iron, sulfur and chlorophyll deficiencies: a need for an integrative approach in plant physiology. *Physiology Plantarum* 103:139-144.
- Júnior M, Corsi M, Trivelin PCO, Alves MC. 2004. Nitrogen recovery and loss in fertilized grass pasture. *Grass and Forage Science* 59:80-84.
- Laffite HR. 2002. Fisiología del maíz tropical. *Tecnifenalce* 2(7), 4-5.
- Novoa R, Villagran A. 2002. Evaluación de un instrumento medidor de clorofila en la determinación de niveles de nitrógeno foliar en maíz. *Agricultura Técnica* 62 (1):165-171
- Ocon PP. 2008. Utilización el colorímetro SPAD 502 para diagnosticar la deficiencia de nitrógeno en sorgo (*Sorghum bicolor* L Moench) bajo distintas dosis de nitrógeno (tesis), Managua, Facultad de Agronomía, Universidad Nacional Agraria. 55 p.
- Potash and Phosphate Institute. 1997. *Manual Internacional de fertilidad de suelos*. Norcross, USA. 146 p.
- Sainz RH, Echeverría HE. 1998. Relación entre las lecturas del medidor de clorofila (Minolta SPAD 502) en distintos estadios del ciclo del cultivo de maíz y el rendimiento del grano. *Revista de la Facultad de Agronomía* 103(1):37-44.
- Salisbury FB, Ross CW. 1992. *Fisiología vegetal*. Editorial Iberoamerica. México DF. pp. 319-338.
- Sánchez PA. 1976. *Properties and management of soils in the tropics*. J. Wiley and Sons, New York, USA. 618 p.
- Santibáñez F, Fuenzalida J. 1989. Modelos ecofisiológicos para el análisis de los potenciales de producción de maíz. Universidad de Talca. Talca, Chile. 32 p.
- Wachendorf M, Volkens KC, Loges R, Rave G, Taube F. 2006. Performance and environmental effects of forage production on sandy soils. IV. Impact of slurry application, mineral N fertilizer and grass under storey on yield and nitrogen surplus of maize for silage. *Grass and Forage Science* 61:232-242.
- Zhao RF, Chen XP, Zhang FS, Zhang H, Schoroder J, Romheld V. 2006. Fertilization and Nitrogen balance in Wheat – Maize rotation system in North China. *Agronomy Journal* 98:999-1004.
- Zotarelli L, Garcia C, Piccinin JL, Urquiaga S, Boddey RM, Torres E, Rodrigues BJ. 2003. Calibração do medidor de clorofila minolta SPAD 502 para avaliação do conteúdo de nitrogênio do milho. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 38(9):1117-1122.