

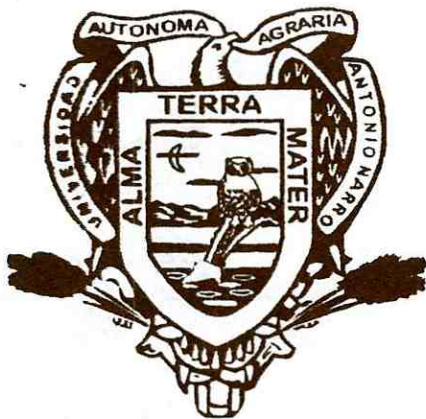
# USO DEL SENSOR SPAD-502 Y EFICIENCIA DE USO DE NITRÓGENO EN MAÍZ FORRAJERO

**ANSELMO GONZÁLEZ TORRES**

**T E S I S**

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL  
PARA OBTENER EL GRADO DE:

**Doctor en Ciencias Agrarias**



**Universidad Autónoma Agraria  
Antonio Narro  
Unidad Laguna**

**DIRECCIÓN DE POSTGRADO**

**Asesor Principal: Ph.D. ARTURO PALOMO GIL**

**Torreón, Coahuila, México  
Julio de 2010**

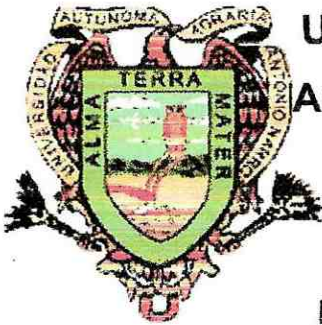
**USO DEL SENSOR SPAD-502 Y EFICIENCIA DE USO DE  
NITROGENO EN MAIZ FORRAJERO**

**ANSELMO GONZALEZ TORRES**

**T E S I S**

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL  
PARA OBTENER EL GRADO DE:**

**DOCTOR EN CIENCIAS AGRARIAS**



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA  
AGRARIA ANTONIO NARRO  
UNIDAD LAGUNA**

**DIRECCIÓN DE POSTGRADO**

**Asesor principal: Ph.D. ARTURO PALOMO GIL**

**Torreón, Coahuila, México**

**Julio de 2010**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
UNIDAD LAGUNA**

**DIRECCIÓN DE POSTGRADO**

**USO DEL SENSOR SPAD-502 Y EFICIENCIA DE USO DE NITROGENO  
EN MAIZ FORRAJERO**

**T E S I S**

**POR**

**ANSELMO GONZALEZ TORRES**

Elaborada bajo la supervisión del comité particular de asesoría, y  
aprobada como requisito parcial para obtener el grado de:

**DOCTOR EN CIENCIAS AGRARIAS**

**Comité particular de asesoría:**

**Asesor principal**

\_\_\_\_\_  
**Ph.D. Arturo Palomo Gil**

**Co-Asesor**

\_\_\_\_\_  
**Ph.D. Uriel Figueroa Viramontes**

**Asesor**

\_\_\_\_\_  
**Dr. Mario García Carrillo**

**Asesor**

\_\_\_\_\_  
**Ph.D. Vicente De Paul Alvarez Reyna**

**Asesor**

\_\_\_\_\_  
**Dr. Pablo Preciado Rangel**

\_\_\_\_\_  
**Dr. Jerónimo Landeros Flores**  
Director de Postgrado

\_\_\_\_\_  
**M.C. Gerardo Arellano Rodríguez**  
Jefe del Departamento de Postgrado

Torreón, Coahuila, México. Julio de 2010.

## AGRADECIMIENTOS

A Dios por permitirme terminar bien esta etapa de mi vida porque nada sucede sin su voluntad.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (**CONACYT**), por apoyarme económicamente para desarrollar mi doctorado.

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro por abrirme las puertas y permitir mi desarrollo y formación y lograr los cambios internos dentro de mí para ser una persona de provecho para el desarrollo de México.

A mis maestros por brindarme sus conocimientos y desinteresada amistad. A todos mis amigos, a quienes no enlisto por su nombre para no cometer la equivocación de dejar de nombrar alguno.

A mis asesores: Dr. Uriel Figueroa Viramontes, Arturo Palomo Gil, Dr. Mario García Carrillo, Vicente De Paul Álvarez Reyna, Pablo Preciado Rangel, por sus consejos, dirección, aportaciones, por su valioso tiempo y dedicación para mi formación y el desarrollo de este trabajo.

Al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), porque el presente estudio forma parte del proyecto de investigación "Manejo integral de la fertilización de cultivos forrajeros mediante análisis de suelo", realizado en el Campo Experimental La Laguna, del INIFAP, bajo la responsabilidad del Dr. Uriel Figueroa Viramontes y con financiamiento de la Fundación Produce Durango, A.C. y el Patronato para la Investigación Agropecuaria de la Laguna, A.C.



## DEDICATORIA

### **A mis padres:**

Hilario González Moreno

San Juana Mayela Torres Gómez

Quienes encausan mi vida con amor, respeto, bondad, comprensión y dirección

### **A mi esposa:**

Carla Ivonne Santoyo Armijo

Deleite de mis ojos y gozo de mi corazón.

### **A mis hijos:**

Diego

Dana

Regalos de Dios y luz y motor de mi vida.

### **A mis hermanos:**

Rodrigo

Adela

Leo

Felipe

Adolfo

Natalia

Julieta

Lalo

Elvira

Mayela

Porque crecimos juntos, porque compartimos muchas cosas y me dan fortaleza siempre que los necesito, gracias hermanos.

## COMPENDIO

### USO DEL SENSOR SPAD-502 Y EFICIENCIA DE USO DE NITROGENO EN MAIZ FORRAJERO

POR

ANSELMO GONZALEZ TORRES

DOCTORADO EN CIENCIAS AGRARIAS

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

UNIDAD LAGUNA

Asesor: Ph.D. ARTURO PALOMO GIL

Torreón, Coahuila, México. Julio de 2010.

**Palabras clave:** *Índice de suficiencia de N, N residual, Fertilización nitrogenada, extracción de N.*

La fertilización es un componente importante de la tecnología de producción de maíz forrajero. El nitrógeno (N) es el nutrimento que más requiere el maíz forrajero y es el que más comúnmente limita el rendimiento. El uso eficiente de N (UEN) está definido como la cantidad de materia seca (MS) de forraje producido por cada unidad de N aplicado. La recuperación aparente de N

(RAN) es la cantidad de N que remueve el cultivo por hectárea, por unidad de N aplicado. Los objetivos del presente estudio fueron: 1) evaluar el efecto del tipo de suelo y la dosis de N en la eficiencia de uso de N, expresada mediante los índices UEN y RAN, 2) calibrar un equipo SPAD para evaluar la relación entre el índice de suficiencia de N (ISN) y el rendimiento de maíz forrajero, y 3) generar ecuaciones de regresión preliminares para estimar requerimientos de N con el uso del SPAD. Los tratamientos evaluados fueron 0, 33, 67, 100 y 133% del requerimiento del cultivo en dos tipos de suelo durante 2007 y 2008 y solo en un tipo de suelo para el SPAD. Se tomaron mediciones con el SPAD antes de cada riego y se estimó el ISN.

En el tratamiento 2 donde se aplicó la dosis de N del 33 % del requerimiento del cultivo, el UEN fue significativamente mas alta con respecto a los demás tratamientos, con los valores más altos de 29.3 kg kg<sup>-1</sup> (MS/N) en el suelo arcilloso en 2007. Para la RAN, el valor estadísticamente más alto observado fue en el suelo arcilloso en 2007 con 363%, y en 2008 con 153%. Conforme fue aumentando la fertilización la tendencia de la UEN fue a bajar. El UEN y la RAN en el suelo arcilloso siempre mostraron valores más altos con respecto al suelo arenoso en los dos años de evaluación.

Para calibrar el SPAD, se realizaron análisis de regresión entre el rendimiento relativo (RR) e ISN contra la dosis de N como fertilizante + N residual en el suelo ( $N_{f+s}$ ). El rendimiento de maíz forrajero en función del  $N_{f+s}$  se ajustó a una ecuación cuadrática. De acuerdo con la ecuación obtenida, el valor de  $N_{f+s}$  para alcanzar el 95% del RR máximo fue de 325 kg ha<sup>-1</sup>. Los

resultados estimados con el SPAD estuvieron relacionados con los rendimientos obtenidos. Los valores de  $r^2$  que relacionan el  $N_{f+s}$  y el ISN variaron de 0.78 a 0.99. Sin embargo, cuando los datos de ISN de la primera fecha de muestreo en ambos años fueron combinados, la  $r^2$  fue de 0.692 y la ecuación fue:  $ISN = -2E-6(N_{f+s})^2 + 0.0012(N_{f+s}) + 0.77$ . Se requiere un número mayor de estudios para calibrar y validar el uso del SPAD con fines de recomendación a escala comercial en maíz forrajero.

## ABSTRACT

# USE OF SENSOR SPAD-502 AND EFFICIENCY OF USE OF NITROGEN IN FORAGE CORN

BY

ANSELMO GONZALEZ TORRES

DOCTORADO EN CIENCIAS AGRARIAS

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
UNIDAD LAGUNA

Adviser: Ph.D. ARTURO PALOMO GIL

Torreón, Coahuila, México. Julio de 2010.

**Key words:** N sufficiency index, *Residual nitrogen*, *Nitrogen fertilization*, *N extracted*.

Fertilization is an important technological component in the production of silage corn. Nitrogen is the most required nutrient and the one that most commonly limits the corn yield. Nitrogen use efficiency (NUE) is defined as dry matter (DM) yielded per unit of N applied. Apparent N recovery (ANR) is the amount of N removed by the crop in a hectare per unit of N applied. The objectives of the present study were: 1) to evaluate the effect of type of soil and N rate on the N use efficiency, expressed as NUE and ANR, 2) to



calibrate an SPAD equipment to evaluate the relationship between N sufficiency index (NSI) and the forage corn yield, and 3) to generate preliminary regression equations to estimate the N requirement of silage corn using the SPAD. The treatment or Nitrogen rates were 0, 33, 67, 100 and 133% of crop N requirement in two types of soil during 2007 and 2008 and one type of soil for SPAD. SPAD measurements were taken before every irrigation event and the NSI was estimated.

In the treatment with 33% of the crop N requirement, the NUE was significantly higher than the other treatments, with highest values of 29.3 kg kg<sup>-1</sup> (DM/N) in the clayey soil in 2007. For ANR, statistically highest value was observed in the clayey soil, with 363% in 2007 and 153% in 2008. Regression analyses were computed between relative yield (RY) and NSI against N rate + residual soil N ( $N_{f+s}$ ). Dry matter yield followed a quadratic equation as a function of  $N_{f+s}$ . According to the quadratic equation, the N rate + residual soil N to achieve 95% of the maximum relative yield was 325 kg ha<sup>-1</sup>. SPAD readings were related to dry matter yield. Values of  $r^2$  for the relationship between N rate and NSI varied from 0.78 to 0.99. However, when NSI data measured at the first sampling date in both years were combined, the  $r^2$  was 0.692, and the equation was:  $NSI = -2E-6 (N_{f+s})^2 + 0.0012 (N_{f+s}) + 0.77$ . As the fertilization rate increased the NUE decreased. Nitrogen use efficiency and ANR in clayey soil always showed higher values than the sandy soil in both years of evaluation. More studies are required to calibrate the SPAD in order to recommend it for commercial purposes in silage corn.

# ÍNDICE

	<b>Página</b>
AGRADECIMIENTOS.....	iii
DEDICATORIA.....	iv
COMPENDIO.....	v
ABSTRACT.....	viii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Objetivos.....	4
1.2. Hipótesis.....	4
II. REVISION DE LITERATURA.....	5
2.1 El Maíz.....	5
2.1.1 Producción nacional y regional.....	7
2.1.2 Ensilado de maíz forrajero.....	8
2.2 El suelo.....	10
2.3 La nutrición en las plantas.....	15
2.4 El N en las plantas.....	17
2.5 Fertilización nitrogenada.....	18
2.6 Ciclo del nitrógeno.....	19
2.7 Uso eficiente de Nitrógeno (UEN).....	21
2.8 Recuperación Aparente de Nitrógeno (RAN).....	22
2.9 Métodos de diagnóstico de N en los cultivos.....	23
2.9.1 Sensor SPAD-502.....	24
2.9.2 Índice de Suficiencia de Nitrógeno.....	25
ARTICULO I.....	26
ARTICULO II.....	48
CONCLUSIONES GENERALES.....	67
LITERATURA CITADA.....	68
APENDICE.....	70
Anexo 1 Carta de recepción Artículo I.....	72
Anexo 2 Carta de aceptado Artículo II.....	74

## I. INTRODUCCIÓN

El maíz es de los forrajes más utilizados en el mundo, ya que se desarrolla rápidamente, produce mucha biomasa, tiene buen nivel nutricional y se adapta a variedad de climas y regiones. En México, los ensilados de maíz tienen un valor de energía neta de lactancia bajo ( $<1.5 \text{ Mcal kg}^{-1}$  de materia seca) en comparación con ensilados de maíz en Estados Unidos de América y Europa (Chalupa, 1995). La Comarca Lagunera es la principal región productora de leche del país, con más de 400 mil cabezas de ganado lechero y la producción de maíz forrajero es una de las actividades agrícolas más importantes en esta región, ya que es la segunda fuente de forrajes que abastecen a la creciente demanda de la principal cuenca lechera de México (Salazar *et al*, 2003). En el ciclo primavera-verano de 2009, en la Región Lagunera el maíz forrajero fue el de mayor producción agrícola con un total de 1,263,495 Toneladas en una superficie cosechada de 28,823 hectáreas (SAGARPA, 2009). La fertilización es un componente importante de la tecnología de producción de maíz forrajero. Los análisis de suelo y planta son también herramientas importantes para tomar decisiones adecuadas de qué y cuánto fertilizar. El crecimiento y rendimiento de la mayoría de las especies cultivadas muestran gran dependencia al Nitrógeno (N) y al agua durante su ciclo biológico. El N es el nutrimento que más requiere el maíz forrajero y es el que más comúnmente limita el rendimiento. El N que toman las plantas del suelo puede provenir de los fertilizantes, del estiércol o del N residual del suelo. Sin embargo, cuando se aplica N en exceso, lo que la planta no absorbe puede perderse del suelo por diferentes procesos, como la volatilización de amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) y lixiviación de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), el cual puede contaminar el acuífero. El N extraído es el N removido por el cultivo en la parte aérea. Se estima que el cultivo de maíz forrajero extrae, en promedio, 14 kg de N por tonelada de materia seca (Núñez *et al.*, 2006b). La recuperación aparente de N (RAN) está dada por los kg de N que extrae la planta por los kg de N aplicado que en realidad es el porcentaje de N que la planta utilizó del N que se le aplicó. (Zemenchik R.A. and Albrecht K.A., 2002).

La eficiencia con la que los cultivos utilizan el fertilizante aplicado es de suma importancia económica, dado que está relacionada directamente con el beneficio de la fertilización. Investigaciones relacionadas con la fertilización de N han sido conducidas a examinar el Uso Eficiente de Nitrógeno (UEN). El UEN está definido como la cantidad de materia seca (MS) de forraje producido por cada unidad de N aplicado (Zemenchik R.A. and Albrecht K.A., 2002). (Reta *et al* 2007), definen el uso eficiente de nitrógeno como la materia seca total producida por Kg total de nutrimento acumulado. El UEN puede ser afectado por la variedad del cultivo, tipo de suelo, latitud, temperatura, dosis de N y condiciones de humedad del cultivo (Wright y Davison, 1964). Long *et al* (1991) notaron que aplicaciones fraccionadas de N en ryegrass incrementan significativamente el UEN. En Connecticut en cultivos de verano como el maíz para ensilaje tienen un UEN en un rango de 42 a 47 Kg de MS por Kg de N aplicado con una dosis de fertilización N de 112 Kg N ha<sup>-1</sup> y el UEN baja a 10 Kg de MS por Kg de N aplicado a una dosis de fertilización N de 448 Kg N ha<sup>-1</sup> (Guillard *et al.*,1995). Muchos otros autores reportaron que para maíz y avena de forraje los valores de UEN descienden con dosis de fertilización N mayores de 112 Kg N ha<sup>-1</sup>.

En la práctica común es incorporar dosis variadas de estiércol al suelo y, adicionalmente, aplicar fertilizantes químicos, sin criterios técnicos basados en demanda de N del cultivo y suministro del suelo (Castellanos *et al.*, 1996).

Existen diversos métodos para determinar requerimientos de N en los cultivos, desde los que emplean un balance entre demanda y suministro de N (Palma *et al.*, 2002), los cuales requieren de análisis de laboratorio; otros métodos utilizan equipos portátiles, como el medidor de nitratos en savia (Rangel *et al.*, 2002), el estimador de clorofila (Varvel *et al.*, 2007), hasta sensores remotos (Solari *et al.*, 2008). El SPAD-502 (Minolta Camera Co., Japan) es un equipo portátil, no destructivo, que determina el verdor de las hojas y cuyas lecturas tienen una alta correlación con el contenido de N en la planta (Sainz-Rozas y Echeverría, 1998; Zebarth *et al.*, 2002). Lo anterior permite utilizar el SPAD para diagnosticar requerimientos de N en cultivos (Varvel *et al.*, 2007). Sainz-Rozas

y Echeverría (1998) usaron el índice de suficiencia de nitrógeno (ISN), que es el resultado de dividir el valor SPAD promedio de cada tratamiento entre el valor SPAD promedio más alto, para diagnosticar deficiencias de N en diferentes etapas del cultivo de maíz para grano. En sus resultados encontraron coeficientes de determinación ( $r^2$ ) de 0.46 a 0.87 entre el ISN y el rendimiento relativo (RR) y concluyeron que el SPAD fue más adecuado para diagnosticar deficiencias de N en etapas posteriores a emisión de la sexta hoja (V6). Es importante contar con calibraciones para el uso del SPAD en diferentes etapas de cultivo, ya que una de las maneras de aumentar la eficiencia de uso del N es mediante aplicaciones fraccionadas (Randall y Mulla, 2001). Varvel *et al.* (2007) evaluaron el equipo SPAD para generar recomendaciones de fertilización en maíz de grano; la ecuación que obtuvieron fue:  $ISN = 0.8073 + 0.002X - 0.0000056X^2$ , donde X es la dosis de N en  $kg\ ha^{-1}$ . Teóricamente, el  $ISN = 1.0$  se relaciona con la cantidad de N (X) para obtener un RR máximo, que en la ecuación anterior es de  $179\ kg\ ha^{-1}$ . Con una ecuación de este tipo se puede estimar la cantidad de N ( $kg\ ha^{-1}$ ) presente en el suelo a un valor medido de  $ISN < 1.0$ ; por lo tanto, la diferencia entre el valor de N ( $kg\ ha^{-1}$ ) cuando el  $ISN < 1.0$  y el N ( $kg\ ha^{-1}$ ) cuando el  $ISN = 1.0$ , será la dosis de N ( $kg\ ha^{-1}$ ) que se requiere aplicar para obtener el RR máximo.

Debido a la importancia del N en el maíz forrajero, a las cantidades elevadas con que es demandado, a que normalmente es deficitario en los suelos agrícolas, a la falta de sistemas de diagnóstico para este nutrimento que sea de fácil uso y barato y a la creciente preocupación por preservar el medio ambiente.



## 1.1. Objetivos

- 1) Evaluar el efecto del tipo de suelo y la dosis de N en la eficiencia de uso de N, expresada mediante los índices UEN y RAN.
- 2) Calibrar un equipo SPAD para evaluar la relación entre el índice de suficiencia de N (ISN) y el rendimiento de maíz forrajero.
- 3) Generar ecuaciones de regresión preliminares para estimar requerimientos de N con el uso del SPAD.

## 1.2. Hipótesis

**Ho** El (UEN) y la (RAN) dependen de las dosis de fertilización aplicadas y el tipo de suelo utilizado.

**Ho** Existe una alta correlación entre los valores SPAD y el rendimiento, que permite estimar requerimientos de N en maíz forrajero.

**Ho** El uso de ecuaciones de regresión generadas a partir de los datos obtenidos con el SPAD permite estimar requerimientos de N en maíz forrajero.

## 2. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. El maíz

El maíz representa una larga tradición en la cultura alimentaria, económica y religiosa de los pueblos latinoamericanos en general y del mexicano en particular. La palabra “maíz” según algunos historiadores proviene de una lengua del Caribe; se cuenta que los españoles tomaron el vocablo de un dialecto de la isla de Haití, cuyos habitantes le llamaban “mahiz”. Sin embargo, cuando los españoles llegaron a América en 1492 y a México en 1521, el maíz ya tenía varios siglos de cultivo e incluso ya se tenía una cultura muy desarrollada sobre este producto.

El origen del maíz sigue siendo hasta la fecha un enigma, debido a que no se sabe con precisión la época y lugar exacto de su aparición. Existen dos teorías sobre el origen geográfico: algunos estudios consideran que el maíz es nativo de Asia, mientras que otros piensan que es de América. De acuerdo a testimonios presentados se considera al Nuevo Mundo como el lugar de origen de dicho producto. Hay evidencias que indican que México fue el centro primario de origen, domesticación y dispersión del maíz, que ocurrió hace más de 6 mil años y que las migraciones humanas lo llevaron a Sudamérica, en donde tuvo lugar el centro secundario, hace aproximadamente más de 5 mil años.

Diversos factores favorecieron la variedad y evolución del maíz. Tales como las migraciones humanas, mutaciones, selección natural o artificial, aislamiento y endogamia, el cruzamiento entre variedades diferentes, etc. Sin embargo, destaca la amplia elasticidad de adaptación que tiene esta semilla, apenas igualada por el frijol. Su nombre científico es **Zea mays**, se considera un cereal de la familia de las gramíneas, del género Zea, que se caracteriza por su alto contenido de almidones.

El maíz es un cultivo remoto, de unos 7000 años de antigüedad, que se cultivaba en algunas zonas de México y América Central. Hoy su cultivo se ha extendido a muchos países y en especial a Europa donde ocupa una posición muy elevada. Estados Unidos de América es otro de los países que destaca por la superficie dedicada al cultivo de maíz.

La planta de maíz es de porte robusto de fácil desarrollo y producción anual; el tallo es simple, erecto, de elevada longitud pudiendo alcanzar los 4 m de altura, sin ramificaciones; hojas largas, de gran tamaño, lanceoladas, alternas, paralelinervias, y se encuentran abrazadas al tallo; raíces fasciculadas y su misión es aportar un perfecto anclaje a la planta.

El maíz requiere temperatura de 25 a 30°C, así como bastante incidencia de luz solar, para que se produzca la germinación, en la semilla la temperatura debe situarse entre 15 y 20°C, llega a soportar temperatura mínima de 8°C y a partir de los 30°C, pueden aparecer problemas serios debido a mala absorción de agua y nutrientes minerales. En la fructificación se requiere temperatura de 20 a 32°C. El maíz es un cultivo exigente en agua en el orden de 5 mm al día. Las necesidades hídricas varían a lo largo del cultivo y cuando las plantas comienzan a nacer se requiere menor cantidad de agua manteniendo una humedad constante; en la fase de crecimiento vegetativo es cuando más cantidad de agua se requiere. Se adapta muy bien a todo tipo de suelo, pero suelos con pH de 6 a 7 son a los que mejor se adapta, también requiere suelo profundo, rico en materia orgánica, con buena circulación del drenaje para no producir encharque que origine asfixia radicular.

La semilla del maíz permite que se siembre tanto en suelo bien preparado como en suelo con mínima labranza o siembra directa. La densidad de siembra para maíz forrajero va de 80,000 a 100,000 plantas por hectárea, con una distancia entre plantas de 15 cm y surcos de 65 a 80 cm. En la región lagunera la fecha de siembra recomendada para primavera es del 20 de marzo al 30 de abril y en verano del 20 de junio al 15 de julio. La mayoría de los híbridos disminuyen su producción de forraje en fechas tardías de primavera (Núñez *et al.*, 2006).

Se cosecha toda la parte aérea de la planta, que se produce para alimento de ganado utilizándose el tallo, hojas, etc. Se puede cosechar verde para alimento de ganado en forraje verde, o se puede deshidratar para su comercialización en seco, a granel o achicalado, es decir, en pacas; otra forma es el ensilado, el cual es en una técnica en la que el maíz u otros tipos de forraje se almacenan en un lugar o construcción (silo) con el fin de que se produzcan fermentaciones anaerobias, hay varios tipos: silo de campo, silo en depósito, silo en plástico y silo en torre.

### **2.1.1. Producción nacional y regional**

En seis estados productores de leche (Jalisco, Chihuahua, Aguascalientes, México, Durango y Coahuila) se concentra el 80% del área de producción de maíz forrajero de riego como secano. El área de secano ha crecido más rápidamente que la de riego. La disponibilidad de agua para riego es baja en Jalisco donde 40% del maíz forrajero es de secano. El uso del riego en maíz forrajero depende de la cantidad y distribución de lluvia. En la mayoría de las localidades del norte con precipitación por debajo de 200 mm, el maíz es regado cuatro a seis veces durante la estación de crecimiento con una aplicación total de 600 mm. En la mayoría de las regiones lecheras el maíz forrajero es ensilado pero en la región lechera de Altos de Jalisco una alta proporción del maíz es secado en el campo con gran demanda de mano de obra y luego picado.

En nuestro país, en los últimos 5 años (2005-2009) se reportan los datos de producción de maíz forrajero verde por año agrícola (riego y temporal) del Cuadro 1. A nivel nacional el estado con mayor producción de maíz forrajero en verde es Jalisco, donde en 2009 se cosecharon 1, 669,160 toneladas con un rendimiento de 20.27 toneladas por hectárea. Ese mismo año, Querétaro fue el estado que tuvo mayor rendimiento con 60.72 toneladas por hectárea.

Cuadro 1. Producción de maíz forrajero en verde en México en los últimos 5 años.

Año	Total Nacional			Región Lagunera		
	Superficie cosechada (ha)	Producción (t)	Rendimiento (t ha <sup>-1</sup> )	Superficie cosechada (ha)	Producción (t)	Rendimiento (t ha <sup>-1</sup> )
2005	267,490	7,470,676	27.929	23,866	1,049,201	43.962
2006	314,817	8,423,660	26.757	28,144	1,269,230	45.097
2007	304,574	8,953,710	29.398	34,770	1,500,808	43.164
2008	466,489	11,925,708	25.565	28,627	1,251,882	43.731
2009	318,981	8,324,064	26.096	28,823	1,252,503	43.455

Situación al 31 de diciembre de cada año.

Fuente: Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP)

### 2.1.2. El Ensilado de maíz forrajero

El uso de maíz para forraje, como planta en pie o ensilado es una práctica común en los países de agricultura avanzada, ya que contribuye a resolver el problema que plantea la estacionalidad de la producción forrajera frente a requerimientos animales de relativa constancia (Bertoia, 2007).

El valor nutritivo del ensilaje destaca por su valor energético tanto en proteínas como sales minerales. El contenido en materia seca del maíz ensilado se consigue con un forraje bien conservado. El momento oportuno para ensilar se encuentra en etapa de grano a 2/3 de masa y 1/3 de leche o bien cuando el contenido de humedad general de la planta es 70%, lo cual se presenta entre 110 y 130 días después de la siembra, en función del ciclo vegetativo de la



variedad utilizada (precoz, intermedia o tardía). La realización del corte para ensilar antes o después de esta etapa genera problemas al momento del ensilado que disminuyen la calidad del silo, actualmente hay maíz molido, al que se adicionan nutrientes para la alimentación integral del ganado.

Existe diferencia entre localidades en la etapa óptima de cosecha. En la Región Lagunera, para optimizar el rendimiento seco por hectárea y calidad nutricional, la cosecha se puede realizar entre grano duro y 1/3 de avance de la línea de leche en el grano de maíz entre 90 y 105 días después de la siembra (Núñez *et al.*, 2006)

Los resultados del análisis del ensilaje de maíz son de poco valor si no se comprenden. Resultados que pueden usarse para: balancear dietas y mejorar el manejo de cosecha si el forraje actual es de calidad cuestionable. Los resultados del análisis se expresan en “tal como recibido” y en “100% base materia seca (MS)”. “Tal como recibido” a menudo se llama también “tal como ofrecido” o “fresco”. El material en base “tal como recibido” incluye el agua o humedad contenida en el alimento. Los nutrientes expresados en esta base representan el contenido en nutrientes del alimento al momento de ser recibido en el laboratorio. En base materia seca significa que toda la humedad ha sido removida. La concentración en nutrientes es contenida en la MS del alimento. Los valores que se reportan en base peso seco van a ser siempre mayores que los reportados en fresco (García *et al.*, 2005). En la conversión a materia seca (MS) se usa la siguiente fórmula:

$$\frac{\text{Nutrimento (tal como recibido)} \times 100}{\% \text{ MS}} = \text{Nutrimento (base MS)}$$

## 2.2. El suelo

**Suelo:** ente natural, tridimensional, trifásico, dinámico, sobre el cual crecen y se desarrollan la mayoría de las plantas. Ente, porque tiene vida; tridimensional, porque es visto a lo largo, ancho y profundidad. Trifásico, porque existe fase sólida, líquida y gaseosa. Dinámico, porque dentro del suelo ocurren procesos que involucran cambios físicos y reacciones químicas constantemente. Además es el medio natural donde crecen las plantas, y sirve como soporte.

La fertilidad del suelo es una cualidad resultante de la interacción entre las características físicas, químicas y biológicas del mismo y consiste en la capacidad de poder suministrar condiciones necesarias para el crecimiento y desarrollo de las plantas. La fertilidad del suelo no es suficiente para el crecimiento de las plantas; el clima juega un papel importante y determinante en muchos casos.

Respecto a su constitución, en general y en promedio, en volumen, una proporción ideal está dada por 45-48% de partículas minerales, 2-5% de materia orgánica, 25% de aire y 25% de agua.

**a) Propiedades físicas.** La proporción de componentes del suelo determina una serie de propiedades que se conocen como propiedades físicas del suelo, las cuales definen la capacidad de infiltración y almacenamiento de agua y contribuyen a definir su erodabilidad y capacidad de uso.

1. *Textura:* proporción de arena, limo y arcilla expresados en porcentaje. En la fracción mineral del suelo, son de interés edafológico solamente las partículas menores de 2 mm de diámetro. A las partículas mayores de 2 mm de diámetro se les denomina “modificadores texturales”,

dentro de este concepto también se incluyen los carbonatos, materia orgánica, sales en exceso, etc., consecuentemente:

$$\% \text{ arena} + \% \text{ limo} + \% \text{ arcilla} = 100\%$$

La textura, propiedad física primaria, guarda relación con la permeabilidad, capacidad retentiva del agua, porosidad, aireación, densidades real y aparente, capacidad de intercambio catiónico y estructura.

De acuerdo a la proporción de arena, limo y arcilla, los suelos son agrupados en clases texturales. Clase textural es el nombre con que se designa a un suelo de acuerdo a la fracción o fracciones predominantes. El sistema USDA contempla 12 clases texturales:

- Arena    - Arena franca    - Franco arcillo limoso
- Limo    - Franco arenoso    - Franco arcillo arenoso
- Arcilla    - Franco arcilloso    - Arcillo limoso
- Franco    - Franco limoso    - Arcillo arenoso

2. *Estructura*: manera como se agrupan las partículas de arena, limo y arcilla, para formar agregados, no debe confundirse "agregado" con "terron". El terrón es el resultado de las operaciones de labranza y no guarda la estabilidad que corresponde a un agregado.

3. *Densidad Aparente y Densidad Real*. La densidad aparente (DA) y la densidad real (DR) se expresan así:

$$DA = Ms/Vt; \quad DR = Ms/Vs$$

donde:

Ms = masa o peso de sólidos

Vs = volumen de sólidos

Vt = volumen total

La composición mineral es más o menos constante en la mayoría de los suelos, por lo tanto, se estima que la DR varía entre 2.6 a 2.7g/cc en todos los suelos. La DA depende del grado de soltura o porosidad del suelo, y es un valor variable que depende de la textura, contenido de materia orgánica y estructura. La DR, mide el grado de compactación de un determinado suelo cuando éste ha sido sometido a trabajos constantes de maquinaria pesada sobre la capa arable, pudiendo mostrarse esa compactación en esa misma capa o en la subyacente.

4. *Porosidad*: porcentaje de espacios vacíos (o poros) con respecto al volumen total del suelo (volumen de sólidos + volumen de poros). La porosidad incluye macroporosidad (poros grandes donde se ubica el aire) y microporosidad (poros pequeños, que definen los capilares donde se retiene el agua).

5. *Coefficientes hídricos*. Los suelos tienen diferente capacidad de retención de agua para las plantas. Valores que se expresan a través de los coeficientes hídricos: capacidad de campo y punto de marchitez. La capacidad de campo es la máxima capacidad de agua que el suelo puede retener; el punto de marchitez es más bien un término fisiológico, que corresponde al contenido de humedad del suelo, donde la mayoría de las plantas, no compensan la evapotranspiración con la absorción radicular, mostrando síntomas de marchitez permanente.

**b) Propiedades químicas:** Contenido de diferentes sustancias importantes como macronutrientes y micronutrientes para las plantas o para dotar al suelo de diferentes características (carbono orgánico, carbono cálcico y fierro en diferentes estados). Son aquellas que permiten reconocer ciertas cualidades del suelo cuando se provocan cambios químicos o reacciones que



alteran la composición y acción de los mismos. Las principales propiedades químicas son:

1. *Materia orgánica.* Residuos de plantas y animales descompuestos, da al suelo algunos alimentos que las plantas necesitan para su crecimiento y producción, mejora las condiciones del suelo para un buen desarrollo de los cultivos. De la materia orgánica depende la buena constitución de los suelos. Un suelo de consistencia demasiada suelta (suelo arenoso) se puede mejorar haciendo aplicaciones de materia orgánica (compost); un suelo demasiado pesado (suelo arcilloso) se mejora haciéndolo mas suave y liviano mediante aplicación de materia orgánica.

2. *Fertilidad.* Propiedad que se refiere a la cantidad de nutrientes que posea el suelo.

3. *Acidez–alcalinidad.* En general las sustancias pueden ser ácidas, alcalinas y neutras.

Químicamente una sustancia es ácida porque hace cambiar a rojo el papel tornasol azul; alcalina o básica, porque hace cambiar a azul el papel tornasol rojo. Y una sustancia es neutra porque no provoca ninguno de estos cambios. Durante el proceso de humificación o de putrefacción del mantillo o materia orgánica para convertirse en humus, intervienen las bacterias y hongos que van elaborando sustancias ácidas, por esto las tierras negras y polvorosas generalmente son ácidas, pero para contrarrestar su acidez, los agricultores aplican cal, que en contacto con el agua forman sustancias alcalinas. En general los suelos ácidos son menos productivos.

Otras propiedades químicas son las siguientes:



4. *Reacción del suelo (pH)*. Propiedad que tiene influencia indirecta en los procesos químicos, disponibilidad de nutrientes, procesos biológicos y actividad microbiana. Definido como el logaritmo inverso de la actividad de iones hidrógeno en la solución suelo. Normalmente el rango de pH del suelo varía entre 3.5 a 9.0, la razón por la que no se alcanzan valores extremos de 0 ó 14 se debe a que la solución de los suelos no es una solución verdadera, sino una solución coloidal.

5. *Arcillas del suelo*. La fracción mineral del suelo lo constituyen las arcillas. Desde el punto de vista de su tamaño, adoptan ese nombre las partículas < 2 mm de diámetro, es mucho más trascendente el comportamiento coloidal que exhiben, es decir la capacidad de mostrar cargas negativas en donde se absorben los cationes que constituyen la posibilidad de reserva de nutrientes.

6. *Complejo arcillo-húmico*. El comportamiento coloidal no es exclusivo de las arcillas. Esta propiedad es compartida con el humus. Las arcillas y humus, forman un todo único, por lo que se denomina complejo arcillo húmico, complejo de cambio, etc.

7. *Capacidad de intercambio catiónico*. Propiedad química que determina los procesos de adsorción de cationes por el complejo de cambio desde la solución suelo y, liberación de cationes desde el complejo de cambio hacia la solución suelo.

**c) Propiedades biológicas.** Están asociadas a presencia de materia orgánica y formas de vida animal, tales como microorganismos, lombrices e insectos, contribuyen a definir su capacidad de uso y erodabilidad.

La cantidad de materia orgánica (MO), está ligada a la cantidad, tipo y actividad microbiana. El mantenimiento de la "fertilidad biológica" sugiere inalterabilidad del ambiente sobre todo microbiológico del suelo.

### 2.3. La nutrición de las plantas

Las plantas necesitan del suelo para la absorción de nutrientes, así como aire, agua y luz; elementos que necesita el ser humano para sobrevivir, al eliminarle uno sólo de ellos mueren. Todas las plantas constan de diferentes órganos con una función específica:

- **Raíz:** órgano que absorbe el  $H_2O$  con nutrientes minerales procedentes del suelo. Este órgano consta del llamado cuello, que es la parte situada al nivel de la superficie del suelo, y que separa el tallo de la raíz. Después está la raíz principal o cuerpo, que es la parte subterránea de la que salen las raíces secundarias y finalmente están los pelos absorbentes, que es por donde penetran el  $H_2O$  y sustancias minerales para alimentar la planta.

- **Tallo:** contiene el principal sistema vascular de la planta, el cuál, transporta  $H_2O$ , nutrientes y productos fotosintéticos, además actúa como soporte de flores, hojas y frutos.

- **Hojas:** lugar principal de la fotosíntesis, respiración y transpiración. Las plantas usan: energía solar,  $CO_2$  y  $H_2O$  para producir los carbohidratos que son la base energética de la planta. En las hojas se produce la transformación de compuestos inorgánicos a orgánicos.

- **Flores:** órganos que sirven para la reproducción de las plantas. La función de la flor es la de transferir el polen de la antera hasta el estigma.

- **El fruto:** ovario fecundado de las plantas con flor. La pared del ovario engorda al transformarse en la pared del fruto y se denomina pericarpio, cuya función es proteger a la semilla.

Cuando la concentración de un nutriente alcanza, de manera normal, niveles altos o bajos en planta, aparecen síntomas característicos en hojas, tallos o frutos.

La información sobre absorción y extracción de nutrientes en hortalizas, frutales y forrajes es esencial para la planificación del esquema de fertilización y toma de decisiones. Un concepto importante que se debe tener presente al momento de evaluar los requerimientos de los cultivos es la diferencia terminológica que se presenta entre las palabras, "absorción" y "extracción" de los cultivos. Se entiende por absorción la cantidad total de nutrientes absorbidos por el cultivo durante su ciclo de desarrollo. El término extracción, es la cantidad total de nutrientes en los órganos cosechados, grano, forraje u otros. La diferencia entre los términos es significativa al momento de recomendar la fertilización, bajo el criterio de reposición. La reposición utilizando la absorción del cultivo implica la aplicación de todos los nutrientes que fueron tomados por el cultivo presentes en sus tejidos y órganos, cosechables y no cosechables. Sin embargo, la práctica de fertilización por niveles de extracción de los cultivos, generalmente la más utilizada, sólo busca reponer los nutrientes que son absorbidos y depositados en tejidos y órganos cosechables

Los nutrientes son elementos que las plantas necesitan para crecer, mantenerse, producir fruto y semilla. Existen 16 nutrientes imprescindibles para la vida de las plantas denominados *nutrientes esenciales* y se clasifican en 2 tipos:

**I. Nutrientes no minerales.** En este grupo tenemos el oxígeno (O), el hidrógeno (H) y el carbono (C).



**II. Nutrientes minerales.** Elementos químicos que se encuentran en el suelo y que, debidamente disueltos en el agua, las plantas absorben a través de su raíz. Estos a su vez se clasifican en dos tipos:

- *Macronutrientes.* Denominados así porque las plantas deben absorberlos en grandes cantidades para su perfecto funcionamiento. Estos elementos son el nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg) y el azufre (S).

- *Micronutrientes.* Las plantas sólo absorben pequeñas cantidades para su buen desarrollo. Los micronutrientes son el hierro (Fe), cobre (Cu), Zinc (Zn), cloro (Cl), manganeso (Mn), molibdeno (Mo) y el boro (B).

#### **2.4. El Nitrógeno en las plantas**

En el suelo el N puede concentrarse en tres fracciones principales: (a) materia orgánica; (b) iones amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) fijados sobre los lugares de intercambio de los minerales de la arcilla; y (c) como iones amonio y nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) en la solución del suelo.

Las formas de N de importancia en la nutrición de las plantas son amonio ( $\text{NH}_4^+$ ), nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ), y nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ). Nitrato y amonio, son las formas de N tomadas por las plantas y constituyen las formas importantes de aplicación de fertilizantes de N a los cultivos.

## 2.5. Fertilización nitrogenada

Las mejores prácticas de manejo (MPM) se pueden definir como acciones, aplicadas a los recursos, que han sido probadas con investigación y que permiten el mejor desempeño combinado de aspectos económicos, sociales y ambientales (IPNI, 2009). Las MPM son la manifestación de campo de los cuatro fundamentos (4Fs) de la nutrición de plantas: aplicación de la fuente correcta, en la dosis, época y localización correctas (Roberts, 2007; Bruulsema *et al.*, 2009).

Los fertilizantes nitrogenados son usualmente agrupados por la forma de nitrógeno (N) en:

- Fertilizantes de *Urea*. La urea es generalmente convertida rápidamente en amonio que puede ser absorbido por las plantas en forma de amonio o en forma de nitrato, si la nitrificación convierte el amonio a nitrato con anterioridad a la absorción por la planta.

- Los fertilizantes de *amonio*. El amonio puede ser absorbido por la planta o convertirse a nitrato antes de su absorción.

- Los fertilizantes de *nitrato*. El nitrato no se une fuertemente a los coloides del suelo, y por tanto puede correr el riesgo de perderse por lixiviación, por la lluvia o riego.

- Los fertilizantes que contienen *N orgánico*. Por ejemplo, composta de residuos orgánicos.

En la nutrición de la planta, el nitrato y amonio deben considerarse como dos nutrientes diferentes debido a sus reacciones dentro de la planta. Se reconoce generalmente que el amonio favorece el color verde de la planta, mientras que el nitrato la hace crecer.

## 2.6. Ciclo del nitrógeno

El nitrógeno está presente en seres vivos como, plantas y animales. Es una parte importante para los no vivos como el aire y tierra. Los átomos de nitrógeno no permanecen en un lugar. Se desplazan lentamente entre seres vivos o muertos, por aire, tierra y agua. A este movimiento se le conoce como ciclo del nitrógeno.

La mayoría del nitrógeno que encontramos en la tierra se encuentra en la atmósfera. Aproximadamente 80% de las moléculas en la atmósfera de la tierra está compuesta de dos átomos de nitrógeno unidos entre sí ( $N_2$ ). Todas las plantas y animales necesitan nitrógeno para elaborar aminoácidos, proteínas y DNA; pero el nitrógeno en la atmósfera no se encuentra en forma que lo puedan usar, por lo cuál, tiene que pasar por diversos procesos.

En condiciones adecuadas de temperatura, aireación, humedad y pH del suelo, los organismos del suelo transforman la mayor parte del nitrógeno procedente de fertilizantes, residuos de cosecha y estiércol en nitrato, proceso conocido como nitrificación. Se pueden dar pérdidas de N, ya sea por lixiviación, verticalmente hacia capas más profundas; por volatilización, sobre todo cuando el fertilizante se deja expuesto sobre el suelo y se tienen condiciones de humedad y altas temperaturas o cuando se fija el amonio a las partículas del suelo.



El nitrógeno es absorbido por las plantas principalmente en forma del ion nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) o amonio ( $\text{NH}_4^+$ ). Casi todo el nitrógeno que absorben las plantas se halla en forma de nitrato. En primera por que el nitrato (anión) es móvil en el suelo y se desplaza en el agua hacia las raíces de las plantas, donde es absorbido. Por otra parte el amonio (catión), es fácilmente ligado a la superficie de las partículas del suelo (anión). (Manual de fertilizantes para cultivos de alto rendimiento, 2007).

En las plantas la eficiencia de removilización del N de las hojas se convierte en el principal determinante de la concentración de proteínas del grano al final del ciclo del cultivo (Caputo *et al.*, 2009). En la planta se conoce que el proceso de removilización está regulado por factores internos como externos.

En el suelo, el N puede ser transformado por mineralización (conversión de N orgánico en inorgánico), seguida por nitrificación (conversión del amonio en nitrato); incorporado por fijación simbiótica (la conversión del nitrógeno de la atmosfera en el amoniaco o amonio); o perdido por desnitrificación (transformación del nitrato en el nitrógeno gas), volatilización del amoniaco (cambio de amonio a nitrógeno atmosférico), reducción desasimiladora de nitrito (transformación del nitrito en óxido nitroso), o captación por la planta (principalmente como amonio y nitrato). Los niveles de estos naturalmente se ven alterados por transformaciones que pueden ser debidas a las condiciones aerobias/anaerobias, cambio de pH, temperatura, presencia de inhibidores químicos, o uso de fitosanitarios como fungicidas y plaguicidas (Romero, 2009).

## 2.7. Uso eficiente del nitrógeno (UEN)

La fertilización es el componente dentro del sistema de producción con mayor incidencia en el costo de producción. La eficiencia con la que los cultivos utilizan el fertilizante aplicado es de suma importancia económica, dado que está relacionada directamente con el beneficio de la fertilización. Investigaciones relacionadas con la fertilización de N han sido conducidas a examinar el Uso Eficiente de Nitrógeno (UEN). El UEN está definido como la cantidad de materia seca (MS) de forraje producido por cada unidad de N aplicado (Zemenchik R.A. and Albrecht K.A., 2002, Reta *et al* 2007), definen el uso eficiente de nitrógeno como la materia seca total producida por Kg total de nutrimento acumulado. El uso eficiente del N generalmente declina cuando suben los niveles de N (Buah *et al*, 1998). El UEN puede ser afectado por la variedad del cultivo, tipo de suelo, latitud, temperatura, dosis de fertilización nitrogenada y condiciones de humedad del cultivo (Wright y Davison, 1964). Long *et al* (1991) notaron que aplicaciones fraccionadas de N en ryegrass incrementan significativamente el UEN. En Connecticut en cultivos de verano como el maíz para ensilaje tienen un UEN en un rango de 42 a 47 Kg de MS por Kg de N aplicado con una dosis de fertilización N de 112 Kg N ha<sup>-1</sup> y el UEN baja a 10 Kg de MS por Kg de N aplicado a una dosis de fertilización N de 448 Kg N ha<sup>-1</sup> (Guillard *et al.*, 1995). Muchos otros autores reportaron que para maíz y avena de forraje los valores de UEN descienden con dosis de fertilización N mayores de 112 Kg N ha<sup>-1</sup>



Esto es consistente con el trabajo de Ramaje *et al* (1958) en New Jersey y George *et al* (1973) en Indiana, quienes reportaron decrecimientos de RAN con dosis de fertilización de N mayores de 112 y 168 Kg N ha<sup>-1</sup> respectivamente.

El uso eficiente de N (UEN) se calcula con la sig. ecuación: (Zemenchik R.A. and Albrecht K.A., 2002).

$$\text{UEN} = (\text{MST}_i - \text{MST}_0) / \text{DN} * 100$$

Donde:

UEN = Uso eficiente de nitrógeno (t MS kg<sup>-1</sup> N),

MST<sub>i</sub> = Materia seca cosechada en el tratamiento fertilizado (t ha<sup>-1</sup>),

MST<sub>0</sub> = Materia seca cosechada en el tratamiento sin nitrógeno (t ha<sup>-1</sup>)

DN = Dosis de nitrógeno del tratamiento fertilizado (kg ha<sup>-1</sup>).

## 2.8. Recuperación aparente del nitrógeno (RAN)

El N extraído es el N removido por el cultivo en la parte aérea. Se estima que el cultivo de maíz forrajero extrae, en promedio, 14 kg de N por tonelada de materia seca (Núñez *et al.*, 2006b). La eficiencia de la removilización del N desde las hojas se convierte en el principal determinante de la concentración de proteínas del grano al final del ciclo del cultivo (Caputo *et al.*, 2009). La recuperación aparente de N (RAN) está dada por los Kg de N que extrae la planta por los Kg de N aplicado que en realidad es el porcentaje de N que la planta utilizó del N que se le aplicó. (Zemenchik R.A. and Albrecht K.A., 2002). La RAN indica cuanto nitrógeno del fertilizante recupera la planta. La RAN en

forraje de pasto es afectada por especies de pasto, dosis de N, precipitación, y tipo de suelo. George *et al*, (1973). Encontró valores de RAN para diferentes tipos de pasto de 0.48, 0.67 y 0.72 Kg N (Kg N aplicado)<sup>-1</sup>

La recuperación aparente de N (RAN) se calcula con sig. ecuación (Zemenchik R.A. and Albrecht K.A; 2002):

$$\text{RAN} = (\text{NET}_i - \text{NET}_0) / \text{DN} * 100$$

Donde:

RAN = Recuperación aparente de nitrógeno (%)

NET<sub>i</sub> = Nitrógeno extraído por la planta en el tratamiento fertilizado (kg ha<sup>-1</sup>)

NET<sub>0</sub> = Nitrógeno extraído por la planta en el tratamiento sin nitrógeno (kg ha<sup>-1</sup>)

DN = Dosis de nitrógeno del tratamiento fertilizado (kg ha<sup>-1</sup>).

## **2.9. Métodos de diagnóstico de nitrógeno en los cultivos**

En las unidades de producción de forraje leche es importante planificar la fertilización de los cultivos, ya que el estiércol que se genera representa un fertilizante y un abono orgánico para el suelo. Sin embargo, la práctica común es incorporar dosis variadas de estiércol al suelo y, adicionalmente, aplicar fertilizantes químicos, sin criterios técnicos basados en demanda de N del cultivo y suministro del suelo (Castellanos *et al.*, 1996). Existen diversos métodos para determinar requerimientos de N en los cultivos, 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. Los hay desde los que emplean un balance entre demanda y suministro de N (Palma *et al.*, 2002), los cuales requieren de análisis de laboratorio; otros métodos utilizan equipos portátiles, como el medidor de nitratos en savia (Rangel *et al.*, 2002), el estimador de clorofila (Varvel *et al.*, 2007), hasta sensores remotos (Solari *et al.*, 2008).

### **2.9.1. Sensor SPAD-502**

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. El SPAD- 502 (Minolta Camera Co., Japan) es un equipo portátil, no destructivo, que determina el verdor de las hojas y cuyas lecturas tienen una alta correlación con el contenido de N en la planta (Sainz-Rozas y Echeverría, 1998; Zebarth *et al.*, 2002). Lo anterior permite utilizar el SPAD para diagnosticar requerimientos de N en cultivos (Varvel *et al.*, 2007).



### 2.9.2. Índice de suficiencia de nitrógeno (ISN)

Sainz-Rozas y Echeverría (1998) usaron el índice de suficiencia de nitrógeno (ISN), que es el resultado de dividir el valor SPAD promedio de cada tratamiento entre el valor SPAD promedio más alto, para diagnosticar deficiencias de N en diferentes etapas del cultivo de maíz para grano. En sus resultados encontraron coeficientes de determinación ( $r^2$ ) de 0.46 a 0.87 entre el ISN y el rendimiento relativo (RR) y concluyeron que el SPAD fue más adecuado para diagnosticar deficiencias de N en etapas posteriores a emisión de la sexta hoja (V6). Por ejemplo, la ecuación de regresión que predice el RR con la lectura SPAD a los 50 días después de la siembra (DDS) fue:  $RR = 0.03 (SPAD) - 0.75$  ( $r^2 = 0.88$ ), con un valor SPAD de 57.0 para alcanzar el RR máximo. Es importante contar con calibraciones para el uso del SPAD en diferentes etapas de cultivo, ya que una de las maneras de aumentar la eficiencia de uso del N es mediante aplicaciones fraccionadas (Randall y Mulla, 2001). En el caso de la Comarca Lagunera, es común la aplicación de una parte de N a la siembra y aplicaciones complementarias antes del primer y segundo riego de auxilio. Varvel *et al.* (2007) evaluaron el equipo SPAD para generar recomendaciones de fertilización en maíz de grano; la ecuación que obtuvieron fue:  $ISN = 0.8073 + 0.002X - 0.0000056X^2$ , donde X es la dosis de N en  $kg\ ha^{-1}$ . Teóricamente, el  $ISN = 1.0$  se relaciona con la cantidad de N (X) para obtener un RR máximo, que en la ecuación anterior es de  $179\ kg\ ha^{-1}$ . Con una ecuación de este tipo se puede estimar la cantidad de N ( $kg\ ha^{-1}$ ) presente en el suelo a un valor medido de  $ISN < 1.0$ ; por lo tanto, la diferencia entre el valor de N ( $kg\ ha^{-1}$ ) cuando el  $ISN < 1.0$  y el N ( $kg\ ha^{-1}$ ) cuando el  $ISN = 1.0$ , será la dosis de N ( $kg\ ha^{-1}$ ) que se requiere aplicar para obtener el RR máximo.

## **ARTICULO 1**

### **USO EFICIENTE Y RECUPERACIÓN APARENTE DE NITRÓGENO EN MAÍZ FORRAJERO EN DOS TIPOS DE SUELO**

(En revisión en Interciencia)

## USO EFICIENTE Y RECUPERACIÓN APARENTE DE NITRÓGENO EN MAÍZ FORRAJERO EN DOS TIPOS DE SUELO

**Anselmo González Torres**<sup>1</sup>, Uriel Figueroa Viramontes<sup>2</sup>, Arturo Palomo Gil<sup>3</sup>, Gregorio Núñez Hernández<sup>2</sup>.

### RESUMEN

La fertilización es un componente importante de la tecnología de producción de maíz forrajero. El nitrógeno (N) es el nutrimento que más requiere el maíz forrajero y es el que más comúnmente limita el rendimiento. El uso eficiente de N (UEN) está definido como la cantidad de materia seca (MS) de forraje producido por cada unidad de N aplicado. La recuperación aparente de N (RAN) es la cantidad de N que remueve el cultivo por hectárea, por unidad de N aplicado. El objetivo del presente estudio fue evaluar la eficiencia de uso de N y determinar si el UEN y la RAN son afectados por el tipo de suelo y la dosis de N. Los tratamientos evaluados fueron 0, 33, 67, 100 y 133% del requerimiento del cultivo. En el tratamientos dos donde se aplicó la dosis de N del 33 % del requerimiento del cultivo, el UEN fue significativamente mas alta con respecto a

---

<sup>1</sup> **Anselmo González Torres.** Estudiante de Doctorado en Ciencias Agrarias en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna (UAAAN-UL), Torreón, Coahuila, México. [anselgonz@hotmail.com.mx](mailto:anselgonz@hotmail.com.mx). (*Autor de correspondencia*)

<sup>2</sup> Uriel Figueroa Viramontes. Ph.D. en Ciencias del suelo, agua y ambiente, Universidad de Arizona, Tucson, AZ, EUA. Investigador en el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Matamoros, Coahuila, México. E-mail: [figueroa.uriel@inifap.gob.mx](mailto:figueroa.uriel@inifap.gob.mx).

<sup>3</sup> Arturo Palomo Gil. Ph.D. en Agronomía New Mexico State University, Las Cruces, NM. Profesor Investigador Titular "C" en la UAAAN-UL. Investigador del Sistema Nacional de Investigadores-CONACyT.

<sup>2</sup> Gregorio Núñez Hernández. Ph.D. Nutrición animal, New Mexico State University, Las Cruces, NM. Investigador en el INIFAP, Matamoros, Coahuila, México. Investigador del Sistema Nacional de Investigadores-CONACyT.



los demás tratamientos, con los valores más altos de  $29.3 \text{ kg kg}^{-1}$  (MS/N) en el suelo arcilloso en 2007. Para la RAN, el valor estadísticamente más alto observado fue en el suelo arcilloso en 2007 con 363%, y en 2008 con 153%. Conforme fue aumentando la fertilización la tendencia de la UEN fue a bajar. El UEN y la RAN en el suelo arcilloso siempre mostraron valores más altos con respecto al suelo arenoso en los dos años de evaluación.

**Palabras clave:** *fertilización nitrogenada, rendimiento de materia seca, extracción de N.*

#### ABSTRACT

Fertilization is an important technological component in the production of silage corn. Nitrogen is the most required nutrient and the one that most commonly limits the corn yield. Nitrogen use efficiency (NUE) is defined as dry matter (DM) yielded per unit of N applied. Apparent N recovery (ANR) is the amount of N removed by the crop in a hectare per unit of N applied. The objective of the present study was to evaluate the N use efficiency and to determine if NUE and ANR are affected by the type of soil and N rate. A sandy soil was seeded on May 3 and a clayey soil on May 19. Nitrogen rates were 0, 33, 67, 100 and 133% of crop N requirement. In the treatment with 33% of the crop N requirement, the NUE was significantly higher than the other treatments, with highest values of  $29.3 \text{ kg kg}^{-1}$  (DM/N) in the clayey soil in 2007. For ANR, statistically highest value was observed in the clayey soil, with 363% in 2007

and 153% in 2008. As the fertilization rate increased the NUE decreased. Nitrogen use efficiency and ANR in clayey soil always showed higher values than the sandy soil in both years of evaluation.

**Key words:** *Nitrogen fertilization, dry matter yield, N extracted*

## INTRODUCCIÓN

La ganadería lechera en la comarca lagunera es intensiva o tecnificada, se hace un uso intensivo de insumos y se dispone de un alto grado de mecanización. En la Región Lagunera es muy importante analizar la producción forrajera, para la producción de leche, ya que es el soporte alimenticio de la ganadería regional. La producción de maíz forrajero es una de las actividades agrícolas más importantes en la Comarca Lagunera, ya que es la segunda fuente de forrajes que abastecen a la creciente demanda de la principal cuenca lechera de México (Salazar *et al*, 2003). El rendimiento de materia seca por hectárea y la digestibilidad son importantes porque determinan en un alto grado el potencial de producción de leche (Núñez *et al.*, 2003). En el ciclo primavera-verano de 2009, en la Región Lagunera el maíz forrajero fue el de mayor superficie cosechada con 28,823 ha (SAGARPA, 2009).

La fertilización es el componente dentro del sistema de producción con mayor incidencia en el costo de producción. Los análisis de suelo y planta son también herramientas importantes para tomar decisiones adecuadas de qué y cuánto fertilizar. El crecimiento y rendimiento de la mayoría de las especies cultivadas



muestran gran dependencia al Nitrógeno (N) y al agua durante su ciclo biológico. El N es el nutrimento que más requiere el maíz forrajero y es el que más comúnmente limita el rendimiento. El N que toman las plantas del suelo puede provenir de los fertilizantes, del estiércol o del N residual del suelo. Sin embargo, cuando se aplica N en exceso, lo que la planta no absorbe puede perderse del suelo por diferentes procesos, como la volatilización de amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) y lixiviación de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), el cual puede contaminar el acuífero.

El N extraído es el N removido por el cultivo en la parte aérea. Se estima que el cultivo de maíz forrajero extrae, en promedio, 14 kg de N por tonelada de materia seca (Núñez *et al.*, 2006b). La eficiencia de la removilización del N desde las hojas se convierte en el principal determinante de la concentración de proteína en el grano al final del ciclo del cultivo (Caputo *et al.*, 2009). La recuperación aparente de N (RAN) está dada por los Kg de N que extrae la planta por los Kg de N aplicado, que en realidad es el porcentaje de N que la planta utilizó del N que se le aplicó. (Zemenchik R.A. and Albrecht K.A, 2002). La RAN indica cuanto nitrógeno del fertilizante recupera la planta. La RAN en pastos es afectada por la especie, dosis de N, precipitación y tipo de suelo. Algunos autores han encontrado valores de RAN para diferentes tipos de pasto de 48 a 72%. George *et al.* (1973).

El UEN está definido como la cantidad de materia seca (MS) de forraje producido por cada unidad de N aplicado (Zemenchik R.A. and Albrecht K.A., 2002). Otros autores definen el uso eficiente de nitrógeno como la materia seca total producida por Kg total de nutrimento acumulado Reta *et al* 2007. El uso

eficiente del N generalmente declina cuando suben los niveles de N (Buah *et al.* 1998). El UEN puede ser afectado por la variedad del cultivo, tipo de suelo, latitud, temperatura, dosis de N y condiciones de humedad del cultivo (Wright y Davison, 1964). Long *et al.*, (1991) notaron que aplicaciones fraccionadas de N en ryegrass incrementan significativamente el UEN. En Connecticut, cultivos de verano como el maíz para ensilaje mostraron un UEN en un rango de 42 a 47 kg MS (kg N)<sup>-1</sup>, con una dosis de fertilización N de 112 Kg ha<sup>-1</sup> de N, mientras que con la dosis de 448 kg ha<sup>-1</sup> de N, el UEN bajó a 10 kg MS (kg N)<sup>-1</sup> (Guillard *et al.*, 1995). Otros autores reportan que para maíz y avena de forraje los valores de UEN descienden con dosis de N mayores de 112 Kg ha<sup>-1</sup> de N. Esto es consistente con el trabajo de Ramaje *et al.* (1958) en New Jersey y George *et al.* (1973) en Indiana, quienes reportaron decrementos de RAN con dosis de fertilización de N mayores de 112 y 168 Kg ha<sup>-1</sup> de N, respectivamente. Debido a la importancia del N en las plantas, a las cantidades elevadas con que es demandado en el crecimiento de los cultivos, a que normalmente es deficitario en los suelos agrícolas y a la creciente preocupación por preservar el medio ambiente, se planteó como objetivos para el presente trabajo, 1) Evaluar la eficiencia con que el maíz forrajero usa el N para producir materia seca 2) Determinar si el UEN y la RAN son afectados por el tipos de suelo y la dosis de N, en condiciones de riego.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en el Campo Experimental La Laguna (CELALA) del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), en Matamoros, Coahuila, situado en la Comarca Lagunera. Esta región se localiza geográficamente en el paralelo 24° 22' de latitud norte y en el meridiano 102° 22' de longitud oeste, tiene una altitud de 1,120 metros sobre el nivel del mar, la precipitación pluvial media anual es de 215 mm y la temperatura media anual de 22.6°C, (INEGI, 2010).

Dicho experimento se llevó a cabo en el ciclo primavera-verano de 2007 y 2008. El suelo es de textura arcillosa y el otro arenosa hasta 60 cm de profundidad; en los cuadros 1 y 2 se muestran algunas otras características de estos suelos. Todos los análisis de suelo se realizaron de acuerdo a los métodos descritos en la Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000 (SEMARNAT, 2000).

Se utilizó maíz forrajero de la variedad SB-302, la cual se sembró en el suelo arenoso el 3 de mayo en 2007 y el 19 de mayo en 2008, en el suelo arcilloso el 4 de mayo en 2007 y 19 de mayo en 2008 en parcelas de 10m de ancho por 15 m de largo.

El diseño experimental fue bloques completos al azar con cuatro repeticiones. Todas las parcelas recibieron 80 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, con ácido fosfórico como fuente (52% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>). Las dosis de N evaluadas se anotan en el Cuadro 3 y 4. La dosis de 300 kg ha<sup>-1</sup> en 2007 se estimó mediante un método de balance (Palma *et al.*, 2002) para una meta de rendimiento de 16 Mg ha<sup>-1</sup> de MS,



considerando una extracción del cultivo de 14 kg de N por Mg de MS (Faz *et al.*, 2006), N residual en el suelo de 75 kg ha<sup>-1</sup> y una eficiencia de uso de N de 60%. Los demás tratamientos representaron 0, 33, 67 y 133% de la dosis de N + N residual (Nf+s). En el ciclo otoño invierno 2007-2008 se cultivó avena forrajera sin fertilizar con el objetivo de bajar y uniformizar la concentración de nutrientes en el suelo; el N residual después de la cosecha de avena fue 50 kg ha<sup>-1</sup>. Como la fecha de siembra en 2008 fue más tarde, la meta de rendimiento de forraje en el segundo año fue de 15 Kg ha<sup>-1</sup> de MS y se consideró un 65% de eficiencia de uso de N, porque las dosis se fraccionaron hasta en cuatro aplicaciones (Cuadro 3 y 4). Con los cambios anteriores, la dosis de N para obtener la meta de rendimiento en 2008 fue de 270 kg ha<sup>-1</sup>. En 2007 las dosis de N se fraccionaron hasta en tres aplicaciones, antes de cada uno de los tres primeros riegos de auxilio. El porcentaje de la dosis de N aplicado en cada riego se anota en los Cuadro 3 y 4. La fuente de N fue sulfato de amonio (20.5% de N), el cual fue disuelto en agua antes de aplicarlo en el riego. Se utilizó un sistema de tubería con multicompuertas para aplicar el riego. En ambos ciclos se aplicó un riego de presembrado o aniego, luego en 2007 se aplicaron cuatro riegos de auxilio, a los 21, 40, 57 y 73 días después de la siembra (DDS), mientras que en 2008 fueron cinco riegos, a los 17, 33, 53, 67 y 84 DDS. La cosecha se realizó a los 97 DDS en 2007 y a los 99 DDS en 2008, en la etapa de madurez del grano de un tercio de avance de la línea de leche (Nuñez *et al.*, 2005). El rendimiento de forraje verde se estimó en una parcela útil de dos surcos centrales por 10 m de largo. Para expresar el rendimiento en materia seca, el

porcentaje de humedad se calculó en una muestra de tres plantas por parcela, las cuales fueron pesadas en fresco y luego secadas en estufa hasta peso constante; la MS promedio en 2007 fue de 37.5% y en 2008 de 35.3%. Para el análisis de N en planta se tomó una muestra de la parte aérea de cinco plantas por parcela y se analizó el N total en la planta completa por el método de Kjeldahl (Jones, 2001). Se realizaron análisis de varianza de las variables evaluadas. Para los análisis estadísticos se utilizó el SAS versión 9.1 (SAS Institute, 2003).

Cuadro 1. Propiedades del suelo arcilloso al inicio del estudio en 2007 y contenido de nitratos y amonio al inicio del 2008.

Parámetro	Unidad	Valor
pH		8.14
Conductividad eléctrica	dS m <sup>-1</sup>	0.42
Textura		Arcilloso
Arena	%	20.4
Arcilla	%	48.6
Nitrato	mg kg <sup>-1</sup>	10.2
Amonio	mg kg <sup>-1</sup>	4.7
2008		
Nitrato	mg kg <sup>-1</sup>	13.4
Amonio	mg kg <sup>-1</sup>	12.4

**Cuadro 2. Propiedades del suelo arenoso al inicio del estudio en 2007 y contenido de nitratos y amonio al inicio del 2008.**

Parámetro	Unidad	Valor
pH		8.41
Conductividad eléctrica	dS m <sup>-1</sup>	0.385
Textura		Franco arcillo arenoso
Arena	%	56.55
Arcilla	%	25.35
Nitrato	mg kg <sup>-1</sup>	9.42
Amonio	mg kg <sup>-1</sup>	15.6
2008		
Nitrato	mg kg <sup>-1</sup>	7.17
Amonio	mg kg <sup>-1</sup>	6.5

**Cuadro 3. Dosis de N y porcentaje de la dosis aplicado a la siembra o en el riego de auxilio en el suelo arcilloso en 2007 y 2008.**

Dosis de N (kg ha <sup>-1</sup> )	Siembra	1 <sup>er</sup> riego	2 <sup>o</sup> riego	3 <sup>er</sup> riego
	----- % aplicado de la dosis de N -----			
	2007			
0				
50		100		
175		60	40	
300		50	35	15
425		50	35	15
	2008			
0				
70	15	85		
190	15	45	40	
310	15	40	35	10
430	15	40	35	10

**Cuadro 4. Dosis de N y porcentaje de la dosis aplicado a la siembra o en el riego de auxilio en el suelo arenoso en 2007 y 2008.**

Dosis de N (kg ha <sup>-1</sup> )	Porcentaje del requerimiento de N	Siembra ----- % aplicado de la dosis de N -----	1 <sup>er</sup> riego	2 <sup>o</sup> riego	3 <sup>er</sup> riego
2007					
0	0		100		
50	33		60	40	
175	67		50	35	15
300	100		50	35	15
425	133				
2008					
0	0		85		
57	33	15	45	40	
163	67	15	40	35	10
270	100	15	40	35	10
377	133	15	40	35	10

Para la aplicación de los riegos se utilizó un sistema de tubería con multicompuertas. Se dio un riego de presiembra o aniego y posteriormente se aplicaron cuatro riegos de auxilio a los 23, 44, 60 y 78 días después de la siembra. La cosecha en el suelo arenoso se realizó a los 97 DDS en 2007 y a los 99 DDS en 2008 y en el suelo arcilloso en el 2007 a los 96 DDS y a los 105 DDS en 2008, en la etapa de madurez del grano de un tercio de avance de la línea de leche (Nuñez *et al.*, 2005). Las variables analizadas fueron: rendimiento total de materia seca (MS), extracción y concentración de N en la planta, uso eficiente y recuperación aparente de N.



El uso eficiente de N (UEN) se calculó con la ecuación 1: (Zemenchik R.A. and Albrecht K.A; 2002).

$$UEN = (MST_i - MST_0) / DN * 100 \quad (1)$$

Donde UEN = Uso eficiente de nitrógeno (t MS kg<sup>-1</sup> N), MST<sub>i</sub> = Materia seca en cosechada en el tratamiento fertilizado (t ha<sup>-1</sup>), MST<sub>0</sub> = Materia seca en cosechada en el tratamiento sin nitrógeno (t ha<sup>-1</sup>) y DN = Dosis de nitrógeno del tratamiento fertilizado (kg ha<sup>-1</sup>).

La recuperación aparente de N (RAN) se calculó con la ecuación 2: (Zemenchik R.A. and Albrecht K.A; 2002).

$$RAN = (NET_i - NET_0) / DN * 100 \quad (2)$$

Donde: RAN = Recuperación aparente de nitrógeno (%), NET<sub>i</sub> = Nitrógeno extraído por la planta en el tratamiento fertilizado (kg ha<sup>-1</sup>), NET<sub>0</sub> = Nitrógeno extraído por la planta en el tratamiento sin nitrógeno (kg ha<sup>-1</sup>) y DN = Dosis de nitrógeno del tratamiento fertilizado (kg ha<sup>-1</sup>).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

**Rendimiento de materia seca.** En rendimiento de materia seca en los dos años 2007 y 2008 así como en los dos tipos de suelo arcilloso y arenoso; en el tratamiento uno donde no hubo aplicación de N, fue significativamente más baja con respecto a los demás tratamientos donde si se aplicó fertilizante nitrogenado. (Cuadro 5). En el suelo arcilloso en 2007 y 2008 y arenoso 2007 no hubo diferencias significativas entre tratamientos con fertilización y los promedios de rendimiento alcanzados concuerdan otros autores, quienes

mencionan que en la región lagunera un buen rendimiento debe ser mayor a 18 toneladas de MS ha<sup>-1</sup> (Núñez *et al*, 2006a). Por lo tanto se deduce que, para el suelo arcilloso 2007 y 2008 y para el suelo arenoso 2007 no era necesario aumentar la cantidad de fertilizante porque con la dosis de N más pequeña y el N residual del suelo era suficiente para cubrir las necesidades nutritivas del cultivo y alcanzar el rendimiento esperado. La respuesta del maíz forrajero a la dosis de N se ajustó a un modelo cuadrático, con valores significativos de r<sup>2</sup>, de 0.78 a 0.95 (Cuadro 6), lo cual es similar a lo reportado por Varvel *et al.*, (2007).

**Cuadro 5. Rendimiento de materia seca (MS) (t ha<sup>-1</sup>)**

Tratamientos	Arcilloso 2007	Arcilloso 2008	Arenoso 2007	Arenoso 2008
0	5.2 b	8.78 b	11.13 b	9.5 c
33	19.87 a	16.18 a	16.68 a	12.9 abc
67	21.44 a	17.13 a	17.41 a	12.32 bc
100	19.31 a	16.07 a	18.64 a	16.03 a
133	21.7 a	19.44 a	17.63 a	14.19 ab

†Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas (Duncan, 0.05).

**Cuadro 6. Ecuaciones de regresión y coeficiente de determinación del rendimiento de materia seca (RMS) en Función de la dosis de nitrógeno (% del requerimiento de N).**

Sitio	Ecuación	r <sup>2</sup>
Arcilloso 2007	RMS = -0.0018•RN <sup>2</sup> + 0.3398•RN + 7.0077	0.8374
Arcilloso 2008	RMS = -0.000•RN <sup>2</sup> + 0.149•RN + 9.855	0.812
Arenoso 2007	RMS = -0.000•RN <sup>2</sup> + 0.153•RN + 11.51	0.952
Arenoso 2008	RMS = -0.000•RN <sup>2</sup> + 0.090•RN + 9.616	0.785

**Por ciento de Nitrógeno en planta.** En cuanto al porcentaje de N en planta únicamente en el suelo arenoso del año 2007 no hubo diferencias significativas con respecto a las diferentes dosis de fertilización, (Cuadro 7). En el otro tipo de suelo y el otro año el tratamiento 1 que es el de cero fertilización siempre fue diferente de los demás tratamientos. El NET y el rendimiento dependen del porcentaje de N en planta, por lo tanto se observa como en los tratamientos 2, 3, 4 ,5 no hubo diferencias significativas en 2007 y en 2008 fueron muy pocas, lo cual se refleja en el NET y rendimiento MS. Por lo tanto al aumentar la dosis de fertilización y no acumular más N en la planta el UEN disminuye. Por ello es necesario considerar la máxima cantidad de N extraído, el N disponible en suelo y las pérdidas de N, como lo reportado por (Cueto et al., 2006) y (Reta et al., 2007).

**Cuadro 7. Porcentaje de nitrógeno en planta (PCT\_N) (%)**

Tratamientos	Arcilloso 2007	Arcilloso 2008	Arenoso 2007	Arenoso 2008
0	0.68 b	0.67 b	0.74 a	0.63 bc
33	1.1 a	1.02 a	0.96 a	0.57 c
67	1.11 a	0.92 ab	0.78 a	0.73 abc
100	1.12 a	0.90 b	1.03 a	0.97 a
133	1.23 a	1.02 a	1.05 a	0.93 ab

†Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas (Duncan, 0.05).

**Nitrogeno extraído.** La extracción de N en los dos años 2007 y 2008 así como en los dos tipos de suelo arcilloso y arenoso; en el tratamiento uno donde no hubo aplicación de N fue significativamente más baja con respecto a los demás tratamientos donde si se aplicó fertilizante nitrogenado. (cuadro 8). En el segundo tratamiento que es el 33% del requerimiento del cultivo que corresponde a 50 y 70 kg ha<sup>-1</sup> en el año 2007 y 2008 respectivamente, en el



suelo arcilloso el NET fue de 217 y 165 kg ha<sup>-1</sup> y en el suelo arenoso en los mismos años con una dosis de fertilización de 50 y 57 kg ha<sup>-1</sup> el NET fue de 161.7 y 70.3 kg ha<sup>-1</sup>, en los demás tratamientos el 3, 4, 5 prácticamente se obtuvieron los mismos valores de NET (no se incrementaron) y el mismo comportamiento se refleja en el rendimiento de MS, en cambio en el UEN al aumentar la dosis de fertilización el UEN disminuye, por lo tanto es necesario considerar la máxima cantidad de N extraído, el N disponible en el suelo y el N perdido durante el ciclo. Estos valores son similares a lo reportado por (Reta et al., 2007), quienes publicaron valores de extracción de N en un rango de 210 a 255 kg ha<sup>-1</sup> que a fin de cuentas esto se refleja en el UEN. El comportamiento mostrado en este experimento es similar a lo reportado por (Cueto et al., 2006) en respuesta a la dosis de fertilización nitrogenada la mayor EUN la encontró en 125 kg ha<sup>-1</sup> con una NET de 139 a 201.8 kg ha<sup>-1</sup> y un rendimiento similar al de la dosis de 250 kg ha<sup>-1</sup> y el aumento en NET fue de 167.8 a 244 kg ha<sup>-1</sup> y la dosis de 375 kg ha<sup>-1</sup> aumento significativamente el rendimiento pero redujo la EUN. La extracción de N por la planta en la cosecha, en función de la dosis de N se ajustó a un modelo cuadrático, con valores significativos de r<sup>2</sup>, de 0.69 a 0.84 (Cuadro 9).

**Cuadro 8. Nitrógeno extraído por la planta (kg ha<sup>-1</sup>) (NET)**

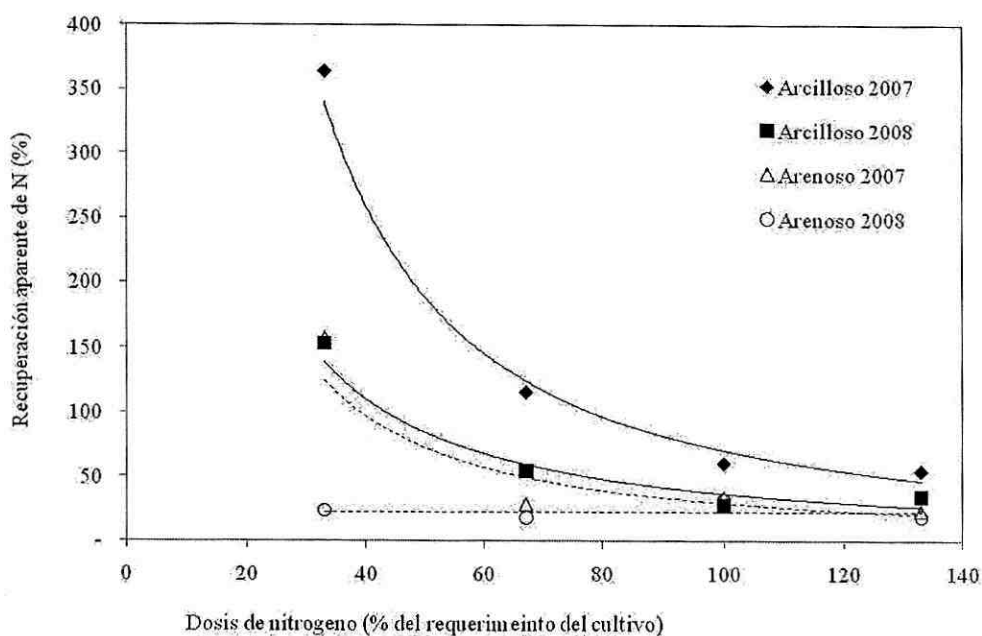
Tratamientos	Arcilloso 2007	Arcilloso 2008	Arenoso 2007	Arenoso 2008
0	35.25 c	57.96 b	83.36 b	60.93 b
33	216.9 b	165.37 a	161.65 a	70.34 b
67	238.02 ab	162.16 a	134.14 a	90.79 b
100	217.15 b	143 ab	186.14 a	147.38 a
133	267.85 a	206.96 a	183.57 a	131.54 a

†Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas (Duncan, 0.05)

**Cuadro 9. Ecuaciones de regresión y coeficiente de determinación de la extracción de nitrógeno en la cosecha (N<sub>ext</sub>) en Función de la dosis de nitrógeno (% del requerimiento de N).**

Sitio	Ecuación	r <sup>2</sup>
Arcilloso 2007	$N_{ext} = -0.0196 \cdot RN^2 + 4.0004 \cdot RN + 58.914$	0.8379
Arcilloso 2008	$N_{ext} = -0.006 \cdot RN^2 + 1.704 \cdot RN + 77.51$	0.687
Arenoso 2007	$N_{ext} = -0.005 \cdot RN^2 + 1.371 \cdot RN + 93.34$	0.758
Arenoso 2008	$N_{ext} = -0.000 \cdot RN^2 + 0.771 \cdot RN + 54.60$	0.834

**Recuperación aparente de N.** Para el segundo tratamiento que es el 33% del requerimiento del cultivo que corresponde a 50 y 70 kg ha<sup>-1</sup> en el año 2007 y 2008 respectivamente, en el suelo arcilloso y 50 y 57 kg ha<sup>-1</sup> en el suelo arenoso en los mismos años, se mostraron los más altos valores de RAN y significativamente diferentes hablando con respecto a los demás tratamientos; el valor más alto fue en el suelo arcilloso con 363%, mientras que en suelo arenoso la RAN fue de 157. (Figura1). Algunos autores han encontrado valores de RAN para diferentes tipos de pasto de 48 a 72% con un rango de fertilización de 126 a 168 kg ha<sup>-1</sup>. George et al. (1973). Los valores de RAN, en función de la dosis de N se ajustaron a un modelo cuadrático, con valores significativos de r<sup>2</sup>, de 0.002 a 0.97 (Cuadro 10).



**Figura 1. Recuperación aparente de nitrógeno (RAN) (%) en las diferentes dosis de fertilización de N en los años 2007 y 2008 para los dos tipos de suelo arenoso y arcilloso.**

**Cuadro 10. Ecuaciones de regresión y coeficiente de determinación de la recuperación aparente de N (RAN) en Función de la dosis de nitrógeno (% del requerimiento de N).**

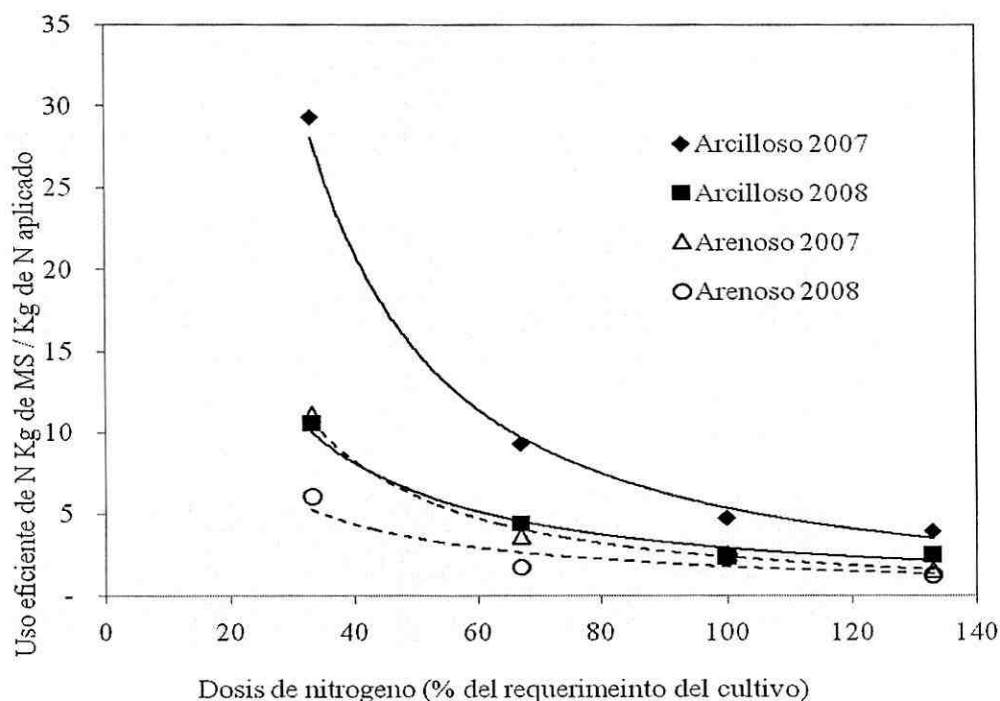
Sitio	Ecuación	r <sup>2</sup>
Arcilloso 2007	$RAN = 49097 \cdot RN^{-1.422}$	0.9757
Arcilloso 2008	$RAN = 9024.8 \cdot RN^{-1.194}$	0.8957
Arenoso 2007	$RAN = 11842 \cdot RN^{-1.302}$	0.8284
Arenoso 2008	$RAN = 24.504 \cdot RN^{-0.019}$	0.002

**Uso eficiente de nitrógeno (UEN).** En el tratamiento con la dosis de N del 33% del requerimiento del cultivo, que corresponde a 50 y 70 kg ha<sup>-1</sup> en el año 2007 y 2008 respectivamente, en el suelo arcilloso y 50 y 57 kg ha<sup>-1</sup> en el suelo arenoso en los mismos años; el UEN obtuvo valores de 29.3 y 10.6 kg MS (kg N)<sup>-1</sup> en el suelo arcilloso y 11.1 y 6 kg MS (kg N)<sup>-1</sup> en el suelo arenoso que fue



significativamente más alto con respecto a los demás tratamientos, donde se fue aumentando la dosis de fertilización al 66, 100 y 133 % del requerimiento del cultivo, específicamente en el último tratamiento con la dosis de N del 133% del requerimiento del cultivo, que corresponde a 425 y 430 kg ha<sup>-1</sup> en el año 2007 y 2008 respectivamente, en el suelo arcilloso y 425 y 377 kg ha<sup>-1</sup> en el suelo arenoso en los mismos años en los cuales se obtuvieron valores de 3.9 y 2.3 kg MS (kg N)<sup>-1</sup> en el suelo arcilloso y de 1.5 y 1.2 kg MS (kg N)<sup>-1</sup> en el suelo arenoso (Figura 2). Conforme fue aumentando la fertilización la tendencia de la UEN fue a bajar, tal y como lo reportan (Buah *et al.* 1998) quienes indican que el EUN generalmente declina cuando suben los niveles de N. Esto es consistente a lo reportado por (Guillard *et al.*, 1995) en Connecticut, con cultivos de verano como el maíz para ensilaje mostraron un UEN en un rango de 42 a 47 kg MS (kg N)<sup>-1</sup>, con una dosis de fertilización N de 112 Kg ha<sup>-1</sup> de N, mientras que con la dosis de 448 kg ha<sup>-1</sup> de N, el UEN bajó a 10 kg MS (kg N)<sup>-1</sup>. Otros autores reportan que para maíz y avena de forraje los valores de UEN descienden con dosis de N mayores de 112 Kg ha<sup>-1</sup> de N. (Reta *et al.*, 2007) probando distancias entre surcos con maíz forrajero el híbrido 3025 W en Matamoros, Coahuila y fertilizando a la siembra con 100 Kg ha<sup>-1</sup> y 120 y 80 al primero y segundo riego de auxilio obtuvo valores de UEN en un rango de 88.6 a 94.7 kg MS (kg N)<sup>-1</sup>. Comparando el suelo arenoso con el suelo arcilloso siempre mostró niveles más altos de UEN, debido probablemente a que las arcillas por sus cargas negativas retienen más el ion amonio. A sí mismo, el bajo UEN encontrado con la mayor dosis de N sugiere un incremento en los

riesgos de contaminación del subsuelo por nitratos, como lo indican Cox et al (1993). Al encontrar cantidades significativas de nitratos residuales en el suelo en las dosis de 140 y 225 Kg ha<sup>-1</sup>. La UEN se ajustó a un modelo cuadrático, con valores significativos de r<sup>2</sup>, de 0.79 a 0.99 (Cuadro 11).



**Figura 2. Uso eficiente de nitrógeno (UEN) kg MS/Kg de N en las diferentes dosis de fertilización de N en los años 2007 y 2008 para los dos tipos de suelo arenoso y arcilloso.**

**Cuadro 11. Ecuaciones de regresión y coeficiente de determinación de el uso eficiente de N (UEN) en Función de la dosis de nitrógeno (% del requerimiento de N).**

Sitio	Ecuación	r <sup>2</sup>
Arcilloso 2007	UEN = 5354•RN <sup>-1.5</sup>	0.987
Arcilloso 2008	UEN = 513.6•RN <sup>-1.12</sup>	0.949
Arenoso 2007	UEN = 1381•RN <sup>-1.38</sup>	0.990
Arenoso 2008	UEN = 170.3•RN <sup>-0.99</sup>	0.787

## CONCLUSIONES

En el tratamiento con la dosis de N del 33 % del requerimiento del cultivo, el UEN fue significativamente más alto, con valores máximos de 29 kg MS (kg N)<sup>-1</sup> en el suelo arcilloso y 11 kg MS (kg N)<sup>-1</sup> en el arenoso. Conforme fue aumentando la fertilización la tendencia de la UEN fue a disminuir. El UEN y la RAN en el suelo arcilloso siempre mostraron valores más altos con respecto al suelo arenoso. Por lo tanto se concluye que el UEN y la RAN son afectados por usar diferentes tipos de suelo y diferentes dosis de fertilización de N.

## LITERATURA CITADA

- Buah, S.S.; Maranville, J.W.; Traore, A.; Bramel-cox, P.J. 1998. Response of nitrogen use efficient sorghums to nitrogen fertilizer. *Journal of Plant Nutrition* 21: 2303 - 2318.
- Caputo, C. M.; Victoria Criado e Irma N. (2009). Roberts IBYF (CONICET-Facultad de Agronomía-UBA) Información parcialmente publicada en *Plant Physiology and Biochemistry* 47: 335-42.
- Cox W.J., Kalonge S., Cherney D.J.R. Reid W.S. Growth, yield, and quality of forage maize under different nitrogen management practices. *Agron. J.* 85:341-347.
- Cueto W.J., Reta S.D., Barrientos R.J., González C.G., Salazar S.E. 2006. Rendimiento de maíz forrajero en respuesta a fertilización nitrogenada y densidad de población. *Rev. Fitotec. Mex.* Vol. 29 Num esp. 2 97-101.
- George, J.R., C.L. Rhykerd, C.H. Noller, J.E. Dillon, and J.C. Burns. 1973. Effect of N fertilization on dry matter yield, total-N, N recovery, and nitrate-N concentration of three cool-season forage grass species. *Agron. J.* 65:211-216.
- Guillard, K., G.F. Griffin, D.W. Allinson, M.M. Rafey, W.R. Yamartino, and S.W. Pietrzyk. 1995. Nitrogen utilization of selected cropping systems in the U.S.



Northeast: I. Dry matter yield, N uptake, apparent N recover, and N use efficiency. *Agron. J.* 87:193–199.

INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). Comarca lagunera. Consultado en 2010. [http://es.wikipedia.org/wiki/Comarca\\_Lagunera](http://es.wikipedia.org/wiki/Comarca_Lagunera)

INIFAP (2004). Alternativas para el maíz forrajero. *El Siglo de Torreón*. Consultado en 2009. <http://www.elsiglodetorreon.com.mx/noticia/79582.alternativas-para-el-maiz-forrajero-agropecuaria.html>

Jones, J. B. (2001). *Laboratory guide for conducting soil tests and plant analysis*. CRC Press. New York.

Long, F.N.J., S.J. Kennedy, and H.I. Gracey. 1991. Effect of fertilizer nitrogen rate and timing on herbage production and nitrogen use efficiency for first-cut silage. *Grass Forage Sci.* 46:231–237.

Núñez, H.G., González, C.F., Faz, C.R. y Figueroa, V.U. 2006. Fertilización de maíz forrajero. En: *Tecnología de producción de maíz forrajero de alto rendimiento y calidad nutricional*. Folleto Técnico Num. 13. Campo Experimental La Laguna. INIFAP. p. 10 y 11.

Núñez, H.G., González, C.F., Faz, C.R. y Figueroa, V.U. 2006. Nitrógeno. En: *Tecnología de producción de maíz forrajero de alto rendimiento y calidad nutricional*. Folleto Técnico Núm. 13. Campo Experimental La Laguna. INIFAP. p. 12 y 13.

Núñez, H.G., Peña, R.A., González, C.F. y Faz, C.R. 2006. Características de híbridos de maíz de alto rendimiento y calidad nutricional de forraje. En: *Maíz forrajero de alto rendimiento y calidad nutricional*. Libro Científico No. 3. Campo Experimental La Laguna. INIFAP. p. 45.

Núñez, H.G.; González, C.F.; Faz, C.R. y Figueroa, V.U. (2006b). Fertilización de maíz forrajero. En: *Tecnología de producción de maíz forrajero*. Folleto Técnico Núm. 13. Campo Experimental La Laguna. INIFAP. p. 10-13.

Ramage, C.H., C. Eby, R.E. Mather, and E.R. Purvis. 1958. Yield and chemical composition of grasses fertilized heavily with nitrogen. *Agron. J.* 50:59–62.

Reta, S.D.G.; Cueto, W.J.A.; Gaytán, M.A. y Santamaría C.J. (2007). Rendimiento y extracción de nitrógeno, fósforo y potasio de maíz forrajero en surcos estrechos. *Agricultura Técnica en México* Vol. 33 Núm. 2 Mayo-Agosto 2007 p. 145-151.

SAGARPA. 2009. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, delegación lagunera. Anuario estadístico de la producción agropecuaria de la Comarca Lagunera.



Salazar, S.E., Beltrán, M.A., Fortis, H.M. 2003. Mineralización de nitrógeno en el suelo y producción de maíz forrajero con tres sistemas de labranza. *TERRA Latinoamericana*, Vol. 21, Núm 4, octubre-diciembre, 2003.

SAS Institute. (2003). *SAS/STATuser's guide*. Release 9.1 ed. SAS Inst., Cary, NC.

Varvel, G. E., W. W. Wilhelm, J. F. Shanahan, and J. S. Schepers. 2007. An algorithm for corn nitrogen recommendations using a chlorophyll meter based sufficiency index. *Agron. J.* 99: 701-706.

Wright, M.J., and K.L. Davison. 1964. Nitrate accumulation in crops and nitrate poisoning in animals. *Adv. Agron.* 16:197-247.

Zemenchik R.A. and Albrecht K.A. 2002. Nitrogen Use Efficiency and Apparent Nitrogen Recovery of Kentucky Bluegrass, Smooth Bromegrass, and Orchardgrass. *Agron. J.* 94: 421-428.

**ARTICULO 2**

**CALIBRACIÓN DEL SPAD-502 PARA EVALUAR REQUERIMIENTOS DE  
NITRÓGENO EN MAÍZ FORRAJERO**

Publicado en Terra Latinoamericana 27: 303-309.

## CALIBRACIÓN DEL SPAD-502 PARA EVALUAR REQUERIMIENTOS DE NITRÓGENO EN MAÍZ FORRAJERO

### SPAD-502 Calibration to Evaluate Nitrogen Requirements in Forage Corn

Anselmo González-Torres<sup>1</sup>, Uriel Figueroa-Viramontes<sup>2</sup>, Jorge A. Delgado<sup>3</sup>, Gregorio Núñez-Hernández<sup>2</sup>, José A. Cueto-Wong<sup>4</sup>, Pablo Preciado-Rangel<sup>5</sup> y Arturo Palomo-Gil<sup>5</sup>

<sup>1</sup>UAAAN-Unidad Laguna. <sup>2</sup>Autor responsable. INIFAP, Campo Experimental La Laguna. Blvd. José Santos Valdés 1200 pte. Matamoros, Coah., (figueroa.uriel@inifap.gob.mx). <sup>3</sup>USDA-ARS, Soil Plant Nutrient Research, Fort Collins, CO. <sup>4</sup>INIFAP, CENID-RASPA, Gómez Palacio, Dgo. <sup>5</sup>Profesor Investigador UAAAN-Unidad Laguna

### RESUMEN

En el presente estudio se calibró un equipo SPAD con el objetivo de evaluar la relación entre el índice de suficiencia de N (ISN) y el rendimiento de maíz forrajero, así como para generar ecuaciones de regresión preliminares para estimar requerimientos de N. Se evaluaron dosis crecientes de N en un suelo franco arcillo arenoso durante 2007 y 2008. Se tomaron mediciones con el SPAD antes de cada riego y se estimó el ISN. Se realizaron análisis de regresión entre el rendimiento relativo (RR) e ISN contra la dosis de N como fertilizante + N residual en el suelo ( $N_{f+s}$ ). El rendimiento de maíz forrajero en función del  $N_{f+s}$  se ajustó a una ecuación cuadrática. De acuerdo con la ecuación obtenida, el valor de  $N_{f+s}$  para alcanzar el 95% del RR máximo fue de 325 kg ha<sup>-1</sup>. Los resultados estimados con el SPAD estuvieron relacionados con los rendimientos obtenidos. Los valores  $r^2$  que relacionan el  $N_{f+s}$  y el ISN variaron de 0.78 a 0.99. Sin embargo, cuando los datos de ISN de la primera fecha de muestreo en ambos años fueron combinados, la  $r^2$  fue de 0.692 y la

ecuación fue:  $ISN = -2E-6(N_{f+s})^2 + 0.0012(N_{f+s}) + 0.77$ . Se requiere un número mayor de estudios para calibrar y validar el uso del SPAD con fines de recomendación a escala comercial en maíz forrajero.

**Palabras clave:** *Índice de suficiencia de N, N foliar, N residual.*

### SUMMARY

In this study a SPAD equipment was calibrated with the purpose to evaluate the relationship between N sufficiency index (NSI) and the corn forage yield, as well as to generate preliminary regression equations to estimate the N requirement of silage corn. Increasing N rates were evaluated in a sandy clay loam soil during 2007 and 2008. SPAD measurements were taken before every irrigation event and the NSI was estimated. Regression analyses were computed between relative yield (RY) and NSI against N rate + residual soil N ( $N_{f+s}$ ). Dry matter yield followed a quadratic equation as a function of  $N_{f+s}$ . According to the quadratic equation, the N rate + residual soil N to achieve 95% of the maximum relative yield was  $325 \text{ kg ha}^{-1}$ . SPAD readings were related to dry matter yield. Values of  $r^2$  for the relationship between N rate and NSI varied from 0.78 to 0.99. However, when NSI data measured at the first sampling date in both years were combined, the  $r^2$  was 0.692, and the equation was:  $NSI = -2E-6 (N_{f+s})^2 + 0.0012 (N_{f+s}) + 0.77$ . More studies are required to calibrate the SPAD in order to recommend it for commercial purposes in silage corn.

**Index words:** *N sufficiency index, foliar N, soil residual N*



## INTRODUCCIÓN

La Comarca Lagunera es la principal región productora de leche del país, con más de 400 mil cabezas de ganado lechero. En el 2008 se sembraron 129 mil ha en esta región, de las cuales el 73% fueron ocupadas con cultivos forrajeros. El maíz para ensilaje es el segundo cultivo forrajero después de alfalfa y representa el 30% de la superficie cosechada con forrajes (SAGARPA, 2009). En las unidades de producción de forraje-leche es importante planificar la fertilización de los cultivos, ya que el estiércol que se genera representa un fertilizante y un abono orgánico para el suelo. Sin embargo, la práctica común es incorporar dosis variadas de estiércol al suelo y, adicionalmente, aplicar fertilizantes químicos, sin criterios técnicos basados en demanda de N del cultivo y suministro del suelo (Castellanos *et al.*, 1996). Existen diversos métodos para determinar requerimientos de N en los cultivos, desde los que emplean un balance entre demanda y suministro de N (Palma *et al.*, 2002), los cuales requieren de análisis de laboratorio; otros métodos utilizan equipos portátiles, como el medidor de nitratos en savia (Rangel *et al.*, 2002), el medidor de clorofila (Varvel *et al.*, 2007), hasta sensores remotos (Solari *et al.*, 2008). El medidor de clorofila SPAD-502 (Minolta Camera Co., Japan) es un equipo portátil, no destructivo, que determina el contenido de clorofila y cuyas lecturas tienen una alta correlación con el contenido de N en la planta (Sainz-Rozas y Echeverría, 1998; Zebarth *et al.*, 2002). Lo anterior permite utilizar el SPAD para diagnosticar requerimientos de N en cultivos (Varvel *et al.*, 2007). Sainz-Rozas y Echeverría (1998) usaron el ISN, que es el resultado de dividir el valor SPAD

promedio de cada tratamiento entre el valor SPAD promedio más alto, para diagnosticar deficiencias de N en diferentes etapas del cultivo de maíz para grano. En sus resultados encontraron coeficientes de determinación ( $r^2$ ) de 0.46 a 0.87 entre el ISN y el rendimiento relativo (RR) y concluyeron que el SPAD fue más adecuado para diagnosticar deficiencias de N en etapas posteriores a emisión de la sexta hoja (V6). Por ejemplo, la ecuación de regresión que predice el RR con la lectura SPAD a los 50 días después de la siembra (DDS) fue:  $RR = 0.03(\text{SPAD}) - 0.75$  ( $r^2 = 0.88$ ), con un valor SPAD de 57.0 para alcanzar el RR máximo. Es importante contar con calibraciones para el uso del SPAD en diferentes etapas de cultivo, ya que una de las maneras de aumentar la eficiencia de uso del N es mediante aplicaciones fraccionadas (Randall y Mulla, 2001). En el caso de la Comarca Lagunera, es común la aplicación de una parte de N a la siembra y aplicaciones complementarias antes del primer y segundo riego de auxilio.

Varvel *et al.* (2007) evaluaron el equipo SPAD para generar recomendaciones de fertilización en maíz grano; la ecuación que obtuvieron fue:  $ISN = 0.8073 + 0.002X - 0.0000056X^2$ , donde X es la dosis de N en  $\text{kg ha}^{-1}$ . Teóricamente, el  $ISN = 1.0$  se relaciona con la cantidad de N (X) para obtener un RR máximo, que en la ecuación anterior es de  $179 \text{ kg ha}^{-1}$ . Con una ecuación de este tipo se puede estimar la cantidad de N ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) presente en el suelo a un valor medido de  $ISN < 1.0$ ; por lo tanto, la diferencia entre el valor de N ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) cuando el  $ISN < 1.0$  y el N ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) cuando el  $ISN = 1.0$ , será la dosis de N ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) que se requiere aplicar para obtener el RR máximo.

En algunos trabajos de investigación se han encontrado inconsistencias en los resultados del SPAD con fines de generar recomendaciones de fertilización. Al trabajar con maíz forrajero, Zebarth *et al.* (2002) señalan que la relación entre el ISN medido en la etapa de emisión de la sexta hoja (V6) y la concentración de N foliar fue inconsistente entre años, aunque el ISN logró identificar con un 68% de acierto, predios que respondieron a la aplicación de N a un valor SPAD crítico menor de 43.7. Estos autores recomiendan el uso del SPAD para identificar predios que no requieren fertilización adicional, sobre todo en suelos con exceso de N por el uso de estiércol. Lo anterior es importante en regiones como La Comarca Lagunera, donde se aplica estiércol y fertilizantes para la producción de cultivos forrajeros. Sainz-Rozas y Echeverría (1998) obtuvieron inconsistencias entre años al relacionar el RR con las lecturas del SPAD y señalan que puede deberse a diferencias en la temperatura ambiente entre los años de evaluación. Otro factor que afecta las lecturas del SPAD es la hora del día en que se toman, ya que tienden a ser menores en condiciones de alta radiación, como a mediodía, y mayores después del amanecer y antes de oscurecer, cuando la radiación es menor (Hoel y Solhaug, 1998). Dado que no se cuenta con información local, los objetivos del presente estudio fueron evaluar la relación entre los valores del SPAD antes de cada riego de auxilio y el rendimiento de maíz forrajero, y generar ecuaciones preliminares que permitan estimar requerimientos de N en maíz forrajero.



## MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en el Campo Experimental La Laguna del INIFAP, en Matamoros, Coahuila, durante el ciclo primavera-verano de 2007 y 2008. El suelo es de textura franco arcillo arenosa hasta 60 cm de profundidad; otras propiedades del suelo se anotan en el Cuadro 1. Todos los análisis de suelo se realizaron de acuerdo a los métodos descritos en la Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000 (SEMARNAT, 2000).

**Cuadro 1.** Propiedades del suelo al inicio del estudio en 2007 y contenido de nitratos al inicio de 2008.

Propiedad	Unidad	Profundidad (cm)	
		0 - 30	30 - 60
pH		8.24	8.58
Conductividad eléctrica	dS m <sup>-1</sup>	0.41	0.36
Materia orgánica	%	1.20	0.64
Fósforo	mg kg <sup>-1</sup>	14.30	4.06
Nitrato (2007)	mg kg <sup>-1</sup>	9.68	9.15
Nitrato (2008)	mg kg <sup>-1</sup>	7.38	6.96
Arena	%	51.69	61.42
Arcilla	%	27.91	22.78
Clase textural		franco arcillo arenoso	franco arcillo arenoso

Se utilizó maíz forrajero de la variedad SB-302, la cual se sembró el 3 de mayo en 2007 y el 19 de mayo en 2008, en parcelas de 10 m de ancho por 15 m de largo. El diseño experimental fue bloques completos al azar con cuatro repeticiones. Todas las parcelas recibieron 80 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, con ácido fosfórico como fuente (52% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>). Las dosis de N evaluadas se anotan en el



Cuadro 2. La dosis de  $300 \text{ kg ha}^{-1}$  en 2007 se estimó mediante un método de balance (Palma *et al.*, 2002) para una meta de rendimiento de  $16 \text{ Mg ha}^{-1}$  de MS, considerando una extracción del cultivo de  $14 \text{ kg de N por Mg de MS}$  (Faz *et al.*, 2006), N residual en el suelo de  $75 \text{ kg ha}^{-1}$  y una eficiencia de uso de N de 60%. Los demás tratamientos representaron 0, 33, 67 y 133% de la dosis de N + N residual ( $N_{f+s}$ ) para obtener la meta de rendimiento. En el ciclo otoño-invierno 2007-2008 se cultivó avena forrajera sin fertilizar con el objetivo de bajar y uniformizar la concentración de nutrientes en el suelo; el N residual después de la cosecha de avena fue  $50 \text{ kg ha}^{-1}$ . Como la fecha de siembra en 2008 fue más tarde, la meta de rendimiento de forraje en el segundo año fue de  $15 \text{ Mg ha}^{-1}$  de MS y se consideró un 65% de eficiencia de uso de N, porque las dosis se fraccionaron hasta en cuatro aplicaciones (Cuadro 2). Con los cambios anteriores, la dosis de N para obtener la meta de rendimiento en 2008 fue de  $270 \text{ kg ha}^{-1}$ . En 2007 las dosis de N se fraccionaron hasta en tres aplicaciones, antes de cada uno de los tres primeros riegos de auxilio. El porcentaje de la dosis de N aplicado en cada riego se anota en el Cuadro 2. La fuente de N fue sulfato de amonio (20.5% de N), el cual fue disuelto en agua antes de aplicarlo en el riego.

**Cuadro 2.** Dosis de N y porcentaje de la dosis aplicado a la siembra o en el riego de auxilio.

Dosis de N kg ha <sup>-1</sup>	Época de aplicación			
	Siembra	1 <sup>er</sup> riego	2 <sup>o</sup> riego	3 <sup>er</sup> riego
	----- % de la dosis de N -----			
	2007			
0		100		
50		60	40	
175		50	35	15
300		50	35	15
425				
	2008			
0		85		
57	15	45	40	
163	15	40	35	10
270	15	40	35	10
377	15	40	35	10

Se utilizó un sistema de tubería con multicompuertas para aplicar el riego. En ambos ciclos se aplicó un riego de presiembra o aniego, luego en 2007 se aplicaron cuatro riegos de auxilio, a los 21, 40, 57 y 73 días después de la siembra (DDS), mientras que en 2008 fueron cinco riegos, a los 17, 33, 53, 67 y 84 DDS. Las lecturas SPAD se tomaron un día antes de cada riego en 10 plantas por parcela. Cada medición se realizó en la hoja más joven completamente expandida, en la parte media entre la base y el ápice y a la mitad entre la nervadura central y el borde de la hoja. Los valores de SPAD se transformaron en valores de ISN, como se describió en párrafos anteriores (Sainz-Rozas y Echeverría, 1998; Varvel *et al.*, 2007). La cosecha se realizó a los 97 DDS en 2007 y a los 99 DDS en 2008, en la etapa de madurez del grano de un tercio de avance de la línea de leche (Nuñez *et al.*, 2005). El rendimiento

de forraje verde se estimó en una parcela útil de dos surcos centrales por 10 m de largo. Para expresar el rendimiento en materia seca, el porcentaje de humedad se calculó en una muestra de tres plantas por parcela, las cuales fueron pesadas en fresco y luego secadas en estufa hasta peso constante; la MS promedio en 2007 fue de 37.5% y en 2008 de 35.3%. Para el análisis de N en planta se tomó una muestra de la parte aérea de cinco plantas por parcela y se analizó el N total en la planta completa por el método de Kjeldahl (Jones, 2001). Se realizaron análisis de varianza de las variables evaluadas. La relación entre las dosis de fertilización y las variables en estudio, incluyendo el rendimiento, se ajustó a una ecuación cuadrática mediante análisis de regresión lineal. Para los análisis estadísticos se utilizó el SAS versión 9.1 (SAS Institute, 2003).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El rendimiento de MS mostró diferencias significativas por efecto de las dosis de N (Cuadro 3). En 2007 los rendimientos fueron estadísticamente iguales en todos los tratamientos que recibieron alguna dosis de N y superaron al tratamiento sin N. En el segundo año, las dosis de 270 y 377 kg ha<sup>-1</sup> de N superaron a los tratamientos con dosis menores de N. Los rendimientos más altos se obtuvieron con 300 kg ha<sup>-1</sup> en 2007 y con 270 kg ha<sup>-1</sup> en 2008, lo que comprueba que se alcanzó la meta de rendimiento en cada año al estimar la dosis de N con el método de balance (Palma *et al.*, 2002; Faz *et al.*, 2006). El rendimiento promedio en 2007 fue de 15.8 Mg ha<sup>-1</sup> y disminuyó a 13.0 Mg ha<sup>-1</sup>





en 2008 debido a que la fecha de siembra fue más tarde con respecto a 2007 (Lauer *et al.*, 1999). El contenido de N total en planta no fue diferente estadísticamente entre tratamientos en 2007, mientras que en 2008 se observaron valores mayores de N en planta en las dosis más altas de N al suelo. Zebarth *et al.*, (2002) señalan que el contenido de N en planta no predijo adecuadamente el rendimiento de MS en maíz para ensilaje.

**Cuadro 3.** Rendimiento de materia seca (MS) y concentración de nitrógeno (N) total en planta de maíz forrajero en respuesta a dosis de N.

Dosis de N		Rendimiento de MS		N total en planta	
2007	2008	2007	2008	2007	2008
kg ha <sup>-1</sup>		Mg ha <sup>-1</sup>		%	
0	0	12.1 b <sup>†</sup>	9.5 c	0.74	0.64 bc
50	57	15.2 ab	12.9 b	0.84	0.57 c
175	163	15.3 ab	12.3 b	0.78	0.73 abc
300	270	18.7 a	16.0 a	1.03	0.97 a
425	377	17.6 a	14.2 ab	1.05	0.93 a
Pr > F		0.009	0.004	0.47	0.05

<sup>†</sup>Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas (Tukey, 0.05).

Los valores de SPAD se anotan en el Cuadro 4. En tres fechas de 2007 y dos fechas de 2008 las diferencias fueron significativas estadísticamente. Como tendencia general se aprecia que las lecturas SPAD aumentan al incrementarse la dosis de N. En todas las fechas de muestreo, excepto a los 17 DDS en 2008, los valores más altos se observaron en los tratamientos estimados para alcanzar la meta de rendimiento, 300 kg ha<sup>-1</sup> en 2007 y 270 kg ha<sup>-1</sup> en 2008. En términos absolutos, el valor SPAD más alto se obtuvo en el último muestreo del 2007, 44.03. Piekielek y Fox (1992) registraron valores SPAD entre 29 y 57 en

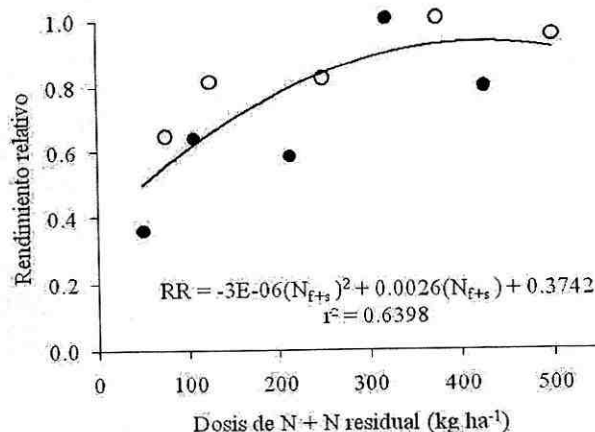
la etapa de quinta hoja, en tres años de estudio, estimándose un valor crítico de 43.4 para separar predios con y sin respuesta a la aplicación N. Por su parte Zebarth *et al.* (2002) obtuvieron un valor SPAD crítico de 43.7 en la etapa de sexta hoja para identificar predios con y sin respuesta a la aplicación N.

**Cuadro 4.** Lecturas SPAD de maíz forrajero en respuesta a dosis de nitrógeno.

Dosis de N		Días después de la siembra / Año							
		21	17	40	33	57	53	73	67
2007	2008	2007	2008	2007	2008	2007	2008	2007	2008
kg ha <sup>-1</sup>		----- Lacturas SPAD -----							
0	0	33.53 b <sup>†</sup>	32.25 b	30.10 b	37.25	27.18 c	27.95	27.60	23.60 b
50	57	35.10 b	34.70 ab	36.93 a	37.30	34.50 b	28.43	33.33	28.98 a
175	163	37.38 ab	35.45 a	39.95 a	39.20	37.05 ab	30.50	39.90	28.83 a
300	270	41.05 a	37.15 a	40.50 a	42.35	41.50 a	34.05	44.03	33.70 a
425	377	36.65 ab	37.68 a	40.48 a	40.28	41.18 a	31.15	42.80	29.60 a
Pr > F		0.0330	0.0154	0.0020	0.0838	0.0001	0.1285	0.0571	0.0088

<sup>†</sup>Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas (Tukey, 0.05).

Al graficar el RR (i. e., el rendimiento de cada tratamiento dividido entre el rendimiento del tratamiento más alto), la respuesta a N<sub>f+s</sub> se ajustó a una ecuación cuadrática (Figura 1). Esta respuesta coincide con Miguez y Bollero (2006), quienes encontraron una función cuadrática para explicar la relación entre dosis de N y el rendimiento de grano en maíz.



**Figura 1.** Rendimiento relativo (RR) de materia seca (MS) en maíz forrajero en respuesta a la dosis de nitrógeno + nitrógeno residual del suelo ( $N_{f+s}$ ). Los círculos abiertos son datos de 2007 y los círculos rellenos son datos de 2008.

Con la ecuación de la Figura 1 se puede calcular que el N requerido ( $N_{f+s}$ ) para alcanzar el 95% del RR máximo es  $325 \text{ kg ha}^{-1}$ . Este requerimiento puede parecer elevado porque incluye pérdidas por eficiencia de uso del fertilizante; además, puede variar de una región a otra. Zebarth *et al.* (2002) encontraron que a un valor de  $229 \text{ kg ha}^{-1}$  de N se obtuvieron las máximas lecturas SPAD, mientras que Varvel *et al.* (2007) registraron el rendimiento relativo máximo a una dosis de N de  $179 \text{ kg ha}^{-1}$ .

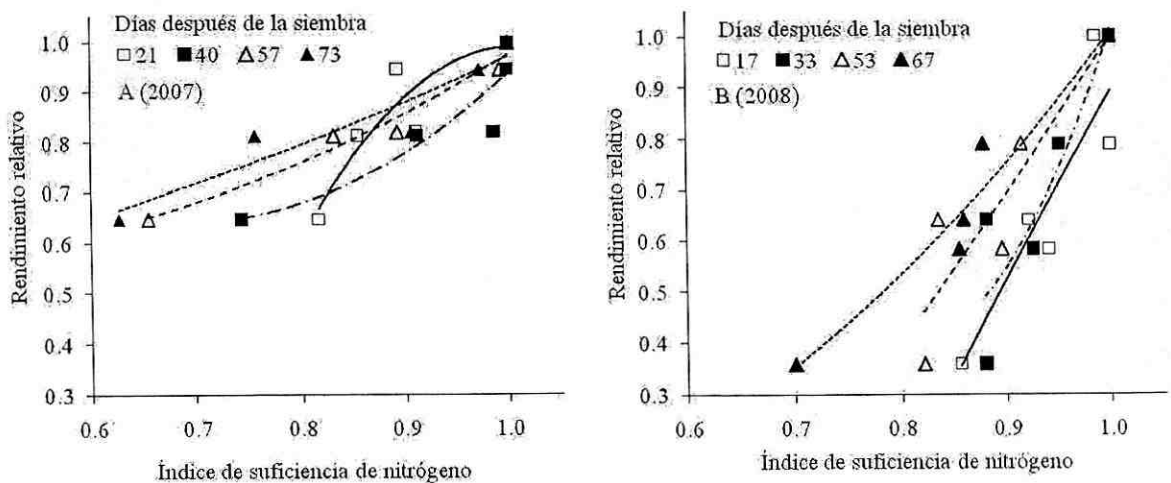
El RR también se relacionó con el ISN mediante ecuaciones cuadráticas (Cuadro 5, Figura 2). Los valores menores de  $r^2$  se observaron en los dos primeros muestreos, antes del primero y segundo riego de auxilio. Lo anterior coincide con Sainz-Rozas y Echeverría (1998), quienes obtuvieron valores de  $r^2 = 0.40$  y  $0.81$  en dos años consecutivos, al relacionar las lecturas SPAD y el RR a los 32 DDS. En estas primeras etapas es cuando se requiere un método



confiable para estimar la suficiencia de N en el cultivo, ya que antes del primer riego es cuando comúnmente se cultiva y se fertiliza el maíz forrajero.

**Cuadro 5.** Ecuaciones de regresión cuadrática entre el índice de suficiencia de N (ISN) y el rendimiento relativo (RR) de maíz forrajero.

Días después de la siembra	Ecuación	r <sup>2</sup>
2007		
21	RR = -9.0042(ISN) <sup>2</sup> + 18.116(ISN) - 8.1215	0.8141
40	RR = 2.9811(ISN) <sup>2</sup> - 4.0756(ISN) + 2.0317	0.8307
57	RR = 0.9605(ISN) <sup>2</sup> - 0.6498(ISN) + 0.6643	0.9669
73	RR = 0.3455(ISN) <sup>2</sup> + 0.2573(ISN) + 0.3685	0.8926
2008		
17	RR = -0.9617(ISN) <sup>2</sup> + 5.5263(ISN) - 3.6711	0.8014
33	RR = 15.206(ISN) <sup>2</sup> - 24.274(ISN) + 10.077	0.8067
53	RR = 0.566(ISN) <sup>2</sup> + 1.9883(ISN) - 1.5555	0.8150
67	RR = 1.8772(ISN) <sup>2</sup> - 1.0056(ISN) + 0.1365	0.9433



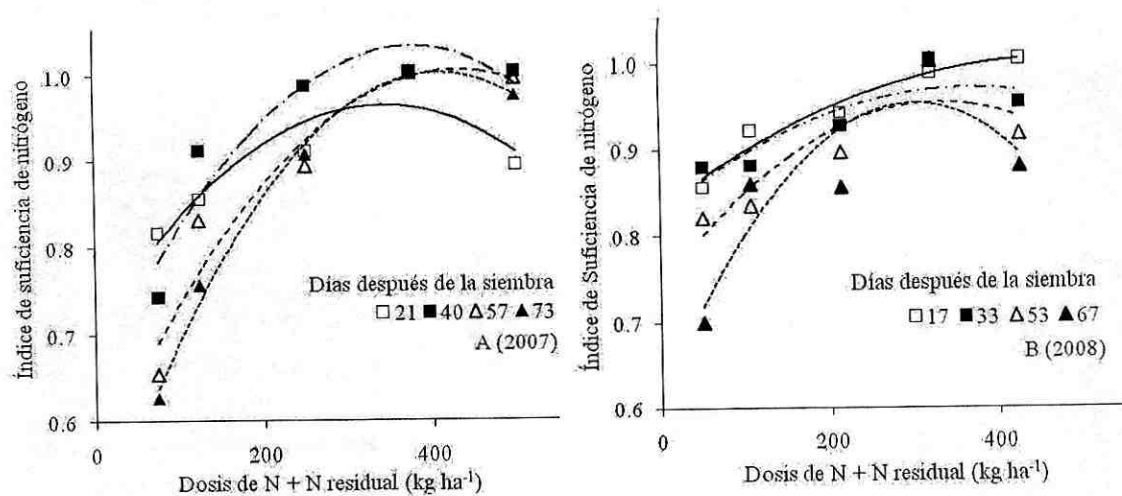
**Figura 2.** Rendimiento relativo de materia seca en maíz forrajero, en función del índice de suficiencia de nitrógeno en 2007 (A) y 2008 (B).



Las ecuaciones de regresión cuadrática entre la dosis de N y el ISN en diferentes fechas de muestreo se anotan en el Cuadro 6 y se ilustran en la Figura 3. En 2007 los valores de  $r^2$  fueron menores en las dos primeras fechas de muestreo,  $r^2 = 0.84$  y  $0.89$ , respectivamente, mientras que en 2008 el mayor valor de  $r^2 = 0.95$  se observó en la primera fecha de muestreo. La inconsistencia entre los resultados obtenidos con el SPAD han sido señalados por Sainz-Rozas y Echeverría (1998) y por Zebarth *et al.* (2002). Los valores de  $r^2$  obtenidos en el presente estudio son mayores a los reportados por Varvel *et al.* (2007), quienes obtuvieron una  $r^2 = 0.70$  entre estas mismas variables, al combinar datos de diferentes etapas de muestreo y años de estudio.

**Cuadro 6.** Ecuaciones de regresión cuadrática entre la dosis de nitrógeno + nitrógeno residual ( $N_{f+s}$ ) y el índice de suficiencia de nitrógeno (ISN) en maíz forrajero.

Días después de la siembra	Ecuación	$r^2$
2007		
21	$ISN = -2E-06(N_{f+s})^2 + 0.0015(N_{f+s}) + 0.7057$	0.8389
40	$ISN = -3E-06(N_{f+s})^2 + 0.002(N_{f+s}) + 0.6456$	0.8864
57	$ISN = -2E-06(N_{f+s})^2 + 0.0021(N_{f+s}) + 0.5454$	0.9292
73	$ISN = -3E-06(N_{f+s})^2 + 0.0027(N_{f+s}) + 0.457$	0.9937
2008		
17	$ISN = -8E-07(N_{f+s})^2 + 0.0007(N_{f+s}) + 0.8319$	0.9516
33	$ISN = -1E-06(N_{f+s})^2 + 0.0008(N_{f+s}) + 0.8277$	0.7855
53	$ISN = -2E-06(N_{f+s})^2 + 0.0013(N_{f+s}) + 0.7418$	0.7841
67	$ISN = -4E-06(N_{f+s})^2 + 0.0022(N_{f+s}) + 0.616$	0.7818



**Figura 3.** Índice de suficiencia de nitrógeno (N) en maíz forrajero, en función de la dosis de N + N residual en 2007 (A) y 2008 (B).

Con las ecuaciones preliminares anotadas en el Cuadro 6 y conociendo el N requerido para alcanzar una meta de rendimiento (Figura 1), se puede calibrar y validar el uso del SPAD en parcelas a escala comercial. Al combinar los datos de ISN de 2007 y 2008 en la primera fecha de muestreo, antes del primer riego de auxilio, la ecuación resultante fue:

$$\text{ISN} = -2\text{E-}6(\text{N}_{\text{f+s}})^2 + 0.0012(\text{N}_{\text{f+s}}) + 0.77 \quad (r^2 = 0.692)$$

El método asume que el ISN= 1.0 corresponde a la dosis de N para obtener la meta de rendimiento ( $325 \text{ kg ha}^{-1}$  en el presente estudio); para estimar el ISN dentro del predio que se quiere fertilizar, se requiere establecer una franja fertilizada de tal manera que el N no sea limitante para la producción. Previo a la fertilización al primer cultivo, se toma la lectura SPAD en la franja no limitada de N y en el resto del predio a fertilizar. Como se explicó anteriormente, el ISN es el resultado de dividir el valor SPAD en el predio a fertilizar entre el valor SPAD en la franja no limitada de N. Por ejemplo, si la lectura SPAD en la franja

no limitada de N es de 0.46 y en la parte a fertilizar es de 0.42, el ISN = 0.91. Al resolver la ecuación con ISN= 0.91, la dosis de  $N_{f+s} = 160 \text{ kg ha}^{-1}$ . El valor anterior es la cantidad teórica presente en el suelo al momento de la medición; la dosis de N como fertilización complementaria será la diferencia entre el valor medido ( $160 \text{ kg ha}^{-1}$ ) y la cantidad de N para obtener el 95% del RR máximo:  $325 - 160 = 165 \text{ kg ha}^{-1}$  (Varvel *et al.*, (2007). El valor de  $325 \text{ kg ha}^{-1}$  para obtener el 95 del RR máximo de maíz forrajero aplica sólo a las condiciones de suelo en que se llevó a cabo el estudio. Las ecuaciones generadas en el presente estudio son preliminares. Para fines de recomendación se requiere un número mayor datos.

## CONCLUSIONES

La respuesta en rendimiento de maíz forrajero a dosis crecientes de nitrógeno (N) se ajustó a una ecuación cuadrática, ya que la producción de forraje disminuyó en el tratamiento diseñado para aportar el 133% del requerimiento de N para obtener la meta de rendimiento. De acuerdo con la ecuación obtenida, la dosis de N para alcanzar el 95% del rendimiento relativo máximo fue de  $325 \text{ kg ha}^{-1}$ .

Las lecturas SPAD estuvieron relacionadas con los rendimientos obtenidos. Se utilizó el índice de suficiencia de N para relacionar las lecturas SPAD con la dosis de N. Los valores de  $r^2$  variaron de 0.78 a 0.99, sin embargo, al combinar los datos de ISN de la primera fecha de muestreo en ambos años de estudio, la  $r^2$  fue de 0.692, con una ecuación:  $ISN = -2E-6(N_{f+s})^2 + 0.0012(N_{f+s}) + 0.77$ . Se



requiere un número mayor de datos para calibrar y validar la presente metodología de uso del SPAD con fines de recomendación a escala comercial en maíz forrajero.

### LITERATURA CITADA

- Castellanos R., J. Z., J. J. Márquez-Ortiz, J. D. Etchevers B., A. Aguilar-Santelises y J. R. Salinas. 1996. Efecto de largo plazo de la aplicación de estiércol de ganado lechero sobre el rendimiento de forrajes y las propiedades del suelo en una región árida irrigada del Norte de México. *Terra* 14: 150-158.
- Faz-Contreras, R., U. Figueroa-Viramontes, R. Jasso-Ibarra y L. H. Maciel-Pérez. 2006. Fertilización y riego. *In: Maíz forrajero de alto rendimiento y calidad nutricional. Libro Científico No. 3. INIFAP, Campo Experimental La Laguna. Matamoros, Coah. México.*
- Hoel B. and K. Asbjérn-Solhaug. 1998. Effect of irradiance on chlorophyll estimation with the Minolta SPAD-502 leaf chlorophyll meter. *Ann. Bot.* 82: 389-392.
- Jones, J. B. 2001. Laboratory guide for conducting soil tests and plant analysis. CRC Press. New York, NY, USA.
- Lauer J. G., P. R. Carter, T. M. Wood, G. Diezel, D. W. Wiersma, R. E. Rand, and M. J. Mlynarek. 1999. Corn hybrid response to planting date in the northern corn belt. *Agron. J.* 91:834-839.
- Miguez, F. E. y G. A. Bollero. 2006. Winter cover crops in Illinois: Evaluation of ecophysiological characteristics of corn. *Crop Sci.* 46:1536-1545.
- Núñez-Hernández, G., R. Faz-Contreras, F. González-Castañeda y A. Peña-Ramos. 2005. Madurez de híbridos de maíz a la cosecha para mejorar la producción y calidad del forraje. *Téc. Pecu. Méx.* 43:69-78.
- Palma-López, D. J., S. Salgado-García, J. J. Obrador-Olán, A. Trujillo-Narcia, L. del C. Lagunes-Espinoza, J. Zavala-Cruz, A. Ruiz-Bello y M. A. Carrera-



- Martel. 2002. Sistema integrado para recomendar dosis de fertilización en caña de azúcar (SIRDF). *Terra* 20: 347-358.
- Piekielek, W. P. and R. H. Fox. 1992. Use of a chlorophyll meter to predict nitrogen requirements for maize. *Agron. J.* 84: 59-65.
- Randall G. W. and D. J. Mulla. 2001. Nitrate nitrogen in surface waters as influenced by climatic conditions and agricultural practices. *J. Environ. Qual.* 30:337-344.
- Rangel-Lucio, J. A., G. Alcántar-González, J. Z. Castellanos-Ramos, E. García-Moya, C. Trejo-López y H. Vaquera-Huerta. 2002. Comparación de dos pruebas para diagnosticar nitrógeno en sorgo. *Terra* 20: 383-390.
- SAGARPA. 2009. Delegación Comarca Lagunera. <http://www.sagarpa.gob.mx/dlg/laguna/informacion.htm>. (Consulta: marzo de 2009).
- Sainz-Rozas H. y 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. *Revista de la Facultad de Agronomía, La Plata.* 103: 37-44.
- SAS Institute. 2003. SAS/STAT user's guide. Release 9.1 ed. SAS Inst., Cary, NC. USA.
- SEMARNAT, 2000. Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. Especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreos y análisis. México, D.F. 48 p.
- Solari, F., J. Shanahan, R. Ferguson, J. Schepers, and A. Gitelson. 2008. Active sensor reflectance measurements of corn nitrogen status and yield potential. *Agron. J.* 100:571-579.
- Varvel, G. E., W. W. Wilhelm, J. F. Shanahan, and J. S. Schepers. 2007. An algorithm for corn nitrogen recommendations using a chlorophyll meter based sufficiency index. *Agron. J.* 99:701-706.
- Zebarth, B. J., M. Younie, J. W. Paul, and S. Bittman. 2002. Evaluation of leaf chlorophyll index for making fertilizer nitrogen recommendations for silage corn in a high fertility environment. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* 33: 665-684.

## CONCLUSIONES GENERALES

El UEN y la RAN en el suelo arcilloso siempre mostraron valores más altos con respecto al suelo arenoso. Por lo tanto se concluye que el UEN y la RAN son afectados por el tipo de suelo y dosis de fertilización de N.

De acuerdo con la ecuación obtenida, la dosis de N para alcanzar el 95% del rendimiento relativo máximo fue de 325 kg ha<sup>-1</sup>.

Las lecturas SPAD estuvieron relacionadas con los rendimientos obtenidos. Se utilizó el índice de suficiencia de N para relacionar las lecturas SPAD con la dosis de N. Los valores de  $r^2$  variaron de 0.78 a 0.99, sin embargo, al combinar los datos de ISN de la primera fecha de muestreo en ambos años de estudio, la  $r^2$  fue de 0.692, con una ecuación:  $ISN = -2E-6(N_{f+s})^2 + 0.0012(N_{f+s}) + 0.77$ . Se requiere un número mayor de datos para calibrar y validar la presente metodología de uso del SPAD con fines de recomendación a escala comercial en maíz forrajero.

## LITERATURA CITADA

- Caputo, C. M.; Victoria Criado e Irma N. (2009). Roberts IBYF (CONICET-Facultad de Agronomía-UBA) Información parcialmente publicada en *Plant Physiology and Biochemistry* 47: 335-42.
- Castellanos R., J. Z., J. J. Márquez-Ortiz, J. D. Etchevers B., A. Aguilar-Santelises y J. R. Salinas. 1996. Efecto de largo plazo de la aplicación de estiércol de ganado lechero sobre el rendimiento de forrajes y las propiedades del suelo en una región árida irrigada del Norte de México. *Terra* 14: 150-158.
- Guillard, K., G.F. Griffin, D.W. Allinson, M.M. Rafey, W.R. Yamartino, and S.W. Pietrzyk. 1995. Nitrogen utilization of selected cropping systems in the U.S. Northeast: I. Dry matter yield, N uptake, apparent N recover, and N use efficiency. *Agron. J.* 87:193-199.
- Long, F.N.J., S.J. Kennedy, and H.I. Gracey. 1991. Effect of fertilizer nitrogen rate and timing on herbage production and nitrogen use efficiency for first-cut silage. *Grass Forage Sci.* 46:231-237.
- Núñez, H.G., González, C.F., Faz, C.R. y Figueroa, V.U. 2006. Fertilización de maíz forrajero. En: Tecnología de producción de maíz forrajero de alto rendimiento y calidad nutricional. Folleto Técnico Num. 13. Campo Experimental La Laguna. INIFAP. p. 10 y 11.
- Núñez, H.G.; González, C.F.; Faz, C.R. y Figueroa, V.U. (2006b). Fertilización de maíz forrajero. En: Tecnología de producción de maíz forrajero. Folleto Técnico Núm. 13. Campo Experimental La Laguna. INIFAP. p. 10-13.
- Randall G. W. and D. J. Mulla. 2001. Nitrate nitrogen in surface waters as influenced by climatic conditions and agricultural practices. *J. Environ. Qual.* 30:337-344.
- Rangel-Lucio, J. A., G. Alcántar-González, J. Z. Castellanos-Ramos, E. García-Moya, C. Trejo-López y H. Vaquera-Huerta. 2002. Comparación de dos pruebas para diagnosticar nitrógeno en sorgo. *Terra* 20: 383-390.
- SAGARPA. 2009. Delegación Comarca Lagunera. <http://www.sagarpa.gob.mx/dlg/laguna/informacion.htm>. (Consulta: marzo de 2009).



- SAGARPA. 2009. *Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, delegación lagunera. Anuario estadístico de la producción agropecuaria de la Comarca Lagunera.*
- Sainz-Rozas H. y 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. *Revista de la Facultad de Agronomía, La Plata.* 103: 37-44.
- Salazar, S.E., Beltrán, M.A., Fortis, H.M. 2003. Mineralización de nitrógeno en el suelo y producción de maíz forrajero con tres sistemas de labranza. *TERRA Latinoamericana, Vol. 21, Núm 4, octubre-diciembre, 2003.*
- Solari, F., J. Shanahan, R. Ferguson, J. Schepers, and A. Gitelson. 2008. Active sensor reflectance measurements of corn nitrogen status and yield potential. *Agron. J.* 100:571-579.
- Varvel, G. E., W. W. Wilhelm, J. F. Shanahan, and J. S. Schepers. 2007. An algorithm for corn nitrogen recommendations using a chlorophyll meter based sufficiency index. *Agron. J.* 99: 701-706.
- Wright, M.J., and K.L. Davison. 1964. Nitrate accumulation in crops and nitrate poisoning in animals. *Adv. Agron.* 16:197-247.
- Zebarth, B. J., M. Younie, J. W. Paul, and S. Bittman. 2002. Evaluation of leaf chlorophyll index for making fertilizer nitrogen recommendations for silage corn in a high fertility environment. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* 33: 665-684.
- Zemenchik R.A. and Albrecht K.A. 2002. Nitrogen Use Efficiency and Apparent Nitrogen Recovery of Kentucky Bluegrass, Smooth Bromegrass, and Orchardgrass. *Agron. J.* 94: 421-428.



## APÉNDICE

**ANEXO 1**

Caracas, 20 de julio de 2010

Ing. Anselmo González Torres  
Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna  
(UAAAN-UL)  
Torreón, Coahuila  
México

**S/R 07-2010**

Apreciado Ing. González Torres,

Hemos recibido el trabajo titulado **USO EFICIENTE Y RECUPERACION APARENTE DE NITRÓGENO EN MAÍZ FORRAJERO EN DOS TIPOS DE SUELO** por González Torres, Anselmo; Uriel, Figueroa Viramontes; Palomo Gil, Arturo; Núñez Hernández, Gregorio,

El Comité Editorial de Interciencia lo revisará en primera lectura para determinar si el material recibido se ajusta a las áreas prioritarias de la Revista y si procede a su arbitraje.

Atentamente,

Ana Raquel Picon  
Gerente Editorial

Calle Veracruz, Residencia La Hacienda, Oficina 31-M, Las Mercedes, Apartado Postal  
51842, Caracas 1050-A, Venezuela.

Teléfonos: 58+212+9917525, Fax: 58+212+9923224. e-mail: [interciencia@ivic.ve](mailto:interciencia@ivic.ve)  
[www.interciencia.org](http://www.interciencia.org)

**ANEXO 2**





# TERRA LATINOAMERICANA

Difusión Científica de la Sociedad Mexicana  
de la Ciencia del Suelo A.C.

---

14 de diciembre de 2009

**DR. URIEL FIGUEROA-VIRAMONTES**  
UAAAN-Unidad Laguna  
Periférico y Carr. Santa Fe s/n.  
Torreón, Coah. México.

Le comunico que su trabajo:

**"CALIBRACIÓN DEL SPAD-502 PARA EVALUAR REQUERIMIENTOS DE  
NITRÓGENO EN MAÍZ FORRAJERO"**

*Anselmo González-Torres, Uriel Figueroa-Viramontes, Jorge A. Delgado, Gregorio Nuñez-  
Hernández, José A. Cueto-Wong, Pablo Preciado-Rangel y Arturo Palomo-Gil*

ha sido aceptado para su publicación. Posteriormente le comunicaremos el volumen y el  
número en que aparecerá.

ATENTAMENTE

**DR. MANUEL SANDOVAL VILLA**  
EDITOR

---

<LA REVISTA TERRA LATINOAMERICANA SE ENCUENTRA EN EL ÍNDICE DE REVISTAS DEL CONACYT>  
Departamento de Suelos, UACh Carr. México-Texcoco km 38.5 Apartado Postal 45, Estado de  
México Tel. y Fax 01 (595) 95 21721 e-mail. terralatinamericana@colpos.mx