

EVALUACION DE METODOS DE DIAGNOSTICO DE NITROGENO DISPONIBLE EN EL SUELO Y SU CORRELACION CON EL MEJORAMIENTO EN LA PRODUCCION DE MAIZ

Soraya Alvarado¹, Elyzabeth Flores² y Franklin Valverde¹

Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP)

INTRODUCCION

El nitrógeno (N) es considerado como el nutriente más limitante para alcanzar los mayores rendimientos en los cultivos. Este elemento se encuentra mayoritariamente formando parte de moléculas orgánicas, los cuales son muy estables. La liberación del N ocurre únicamente en condiciones que favorezcan la mineralización de la materia orgánica; sólo el 10% del N del suelo se encuentra en forma inorgánica (amonio, nitratos y nitritos) que son fácilmente asimilables por las plantas pero que también pueden perderse del suelo fácilmente (Mulvaney *et al.*, 2001).

En la provincia de Bolívar el cultivo de maíz es el más importante para la economía de los agricultores y constituye uno de los alimentos básicos en la dieta diaria de la población rural. Las zonas de producción de maíz suave, se ubican entre los 2200 a 2800 m de altitud, en suelos con deficiencias de N y P principalmente y expuestos a la erosión causada por el agua, viento y la inducida por el hombre debido a las prácticas inadecuadas de manejo de suelos en ladera. Según resultados obtenidos en ensayos en maíz bajo el manejo de nutrientes por sitio específico se ha determinado que el N es el principal nutriente que limita la producción de maíz seguido por el fósforo. El rendimiento potencial promedio de grano de maíz se logra incrementar en hasta el 121% al fertilizar con una dosis de N de 120 kg ha⁻¹ en relación al tratamiento sin fertilización nitrogenada (INIAP, 2007; INIAP, 2008; INIAP, 2009).

La disponibilidad del N en el suelo es evaluada a través de métodos directos como el análisis químico del suelo y métodos indirectos como la cuantificación del índice de verdor de las plantas. En el primer caso, el análisis químico de N en el suelo sigue siendo objeto de estudio debido a que sólo algunos de los métodos analíticos han sido satisfactorios para ciertos tipos de suelos. Una de las explicaciones para la ausencia de métodos analíticos que sean capaces de determinar el N disponible en el suelo es la inestabilidad de las formas químicas del N, las cuales están gobernadas por factores físico-químicos, biológicos y mineralógicos propios de cada suelo y que a su vez interaccionan con los factores ambientales.

En los últimos años se han reportado resultados satisfactorios en la evaluación de N disponible en una amplia gama de suelos a través del método "Illinois Soil Nitrogen Test" (ISNT) (Khan *et al.*, 2001; Mulvaney, *et al.*, 2001; Hoefl *et al.*, 2005). Este método cuantifica una fracción del N orgánico que es fácilmente mineralizable; por lo que serviría no sólo como un indicador del potencial de liberación de N a través de la mineralización; sino también como un indicador de calidad de suelo.

OBJETIVO GENERAL

Evaluar herramientas de diagnóstico de disponibilidad de N en el suelo con fines de fertilización en el cultivo de maíz.

¹ Departamento de Manejo de Suelos y Aguas-EESC-INIAP. Correo electrónico: spalv_2000@yahoo.com

² Pontificia Universidad Católica del Ecuador

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Validar el uso del índice de verdor como herramienta para determinar la disponibilidad de N en el suelo.
- Correlacionar y calibrar agronómicamente cuatro métodos de análisis químico de N (ISNT, N total, nitratos y amonio) en el suelo bajo el cultivo de maíz.
- Evaluación espacio-temporal de la disponibilidad de N luego de la fertilización nitrogenada en el cultivo de maíz.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento de campo estuvo ubicado en el cantón Chimbo, provincia de Bolívar a una altitud de 2534 m, 01°40'49" S Latitud, 79°01'54" O Longitud. Se utilizó maíz INIAP-111 (Guagal mejorado). El análisis inicial del suelo (**Tabla 1**) indica que se trata de un suelo con contenidos altos para la mayoría de los nutrientes con excepción del S, Zn y B. El experimento estuvo bajo un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones. Los tratamientos fueron 5 para evaluar niveles de N (**Tabla 2**). El ensayo fue manejado bajo el sistema de labranza mínima con una población de 50000 plantas ha⁻¹. El N se aplicó a la siembra (20%), V6 (30%), V8 (30%) y V9 (20%). Los demás nutrientes se aplicaron a la siembra. Las fuentes de nutrientes utilizadas fueron urea, superfosfato triple, muriato de potasio y sulpomag. Se realizaron controles fitosanitarios para *Heliothis zea*, *Euxestaeluta*, *Agrostis sp* y *Spodoptera frugiperda*.

Las variables evaluadas fueron rendimiento de grano, índice de verdor y N en el suelo. El índice de verdor fue cuantificado a través del uso de la Tabla de Comparación de Colores (TCC) desarrollada por el IRRI (Witt *et al.*, 2005) y el medidor portátil de clorofila (Apogee CCM-200). Se tomaron las lecturas desde el estado de crecimiento V6 hasta VT en la hoja más joven completamente expandida.

Para el análisis de N en suelo se realizó cinco muestreos (15 días después de la primera, segunda, tercera y cuarta aplicación de N, y en la cosecha) a una profundidad de 15 cm. En cada unidad experimental se tomó diez submuestras en tres sitios: a 10 cm de la planta entre surcos, a 10 cm de la planta entre plantas y a 40 cm de la planta entre surcos. Los análisis fueron realizados sobre muestras secadas al aire, molidas y tamizadas a 2 mm utilizando tres métodos vigentes en el Laboratorio del Departamento de Manejo de Suelos y Aguas (DMSA) de la Estación Experimental Santa Catalina (EESC) del INIAP; N total (NT) (Semimicro Kjeldahl), nitratos (NO₃⁻) (Fotocolorimétrico-ácido salicílico en extracto de solución de sulfato de potasio 0.34 M) y amonio (NH₄⁺) (Fotocolorimétrico-azul de indofenol en extracto Olsen Modificado pH 8.5). El cuarto método fue el ISNT para N orgánico fácilmente mineralizable (Mulvaney *et al.*, 2001); el cual brevemente consiste en una hidrólisis alcalina y difusión simultánea, seguida por la cuantificación del N liberado en forma de amonio por fotocolorimetría ó análisis elemental.

El análisis estadístico se realizó utilizando PROC GLM, y PROC CORR en el sistema SAS.

Tabla 1. Características químicas iniciales del suelo

P	S	K	Ca	Mg	Zn	Cu	Fe	Mn	B	pH	MO
(ppm)		(meq/100 ml)			(ppm)						(%)
45A	3.9B	0.7A	13.8A	2.9A	6M	16A	205A	46A	0.5B	6.2	4.6M

A =Alto, M=medio, B=bajo

Tabla 2. Niveles de nitrógeno y fertilización complementaria aplicada a los tratamientos del ensayo de campo

Tratamiento	N	P ₂ O ₅	K ₂ O (kg/ha)	S	Mg
T1	0	60	20	20	10
T2	50	60	20	20	10
T3	100	60	20	20	10
T4	150	60	20	20	10
T5	200	60	20	20	10

RESULTADOS Y DISCUSION

Respuesta del rendimiento de grano de maíz y del índice de verdor a la fertilización nitrogenada

El efecto de la fertilización nitrogenada sobre el rendimiento de grano de maíz y sobre el índice de verdor expresados como índice relativo de clorofila y unidades de la TCC se muestran en la **Tabla 3**. El análisis de varianza indicó que existen diferencias significativas entre los niveles de N para rendimiento de grano; a medida que aumenta el nivel de N existe incremento del rendimiento. El máximo de rendimiento de grano de maíz se observó con el nivel de 150 kg de N ha⁻¹. Estos resultados son consistentes con los reportados en investigaciones anteriores realizadas en suelos de la misma zona (INIAP, 2007; INIAP, 2008; INIAP, 2009).

Los valores de las unidades de la TCC y del índice relativo de clorofila aumentaron significativamente con el incremento del nivel de N. Sin embargo, dicho efecto se hizo más evidente a medida que avanzó el estado fisiológico de la planta, pudiendo observarse mayor magnitud de cambio en el índice de verdor de V10 a V14 y de 100 a 150 kg de N ha⁻¹; con un máximo de índice de verdor para V14 en todos los tratamientos que recibieron la aplicación de N (**Figura 1**). Los valores más altos del índice de verdor, detectados solamente por el índice relativo de clorofila, y asociados con el tratamiento de 200 kg de N ha⁻¹ para V16 y VT sugieren que el N que no fue utilizado por la planta para potencial el rendimiento se mantuvo a nivel foliar; pues en términos de rendimiento de grano este tratamiento fue menor comparado con el tratamiento de 150 kg de N ha⁻¹. Los datos del presente estudio muestran concordancia con los resultados encontrados por García y Espinosa (2008), quienes reportaron mayor magnitud de incrementos del índice de verdor cuando se aplicaron dosis de 75 y 150 kg de N ha⁻¹.

En general existió una alta correlación ($R^2 = 0.84$) entre el índice relativo de clorofila y las unidades de lectura de la TCC (**Figura 2**), lo cual indica la validez del uso de cualquiera de estas herramientas para el diagnóstico del índice de verdor y por lo tanto de la nutrición del N en el cultivo de maíz.

Tabla 3. Efecto de la dosis de N en el rendimiento de grano y los valores del índice de verdor expresados como índice relativo de clorofila y unidades de la TCC durante las distintas etapas fisiológicas del cultivo de maíz

Dosis N (kg/ha)	Rendimiento Grano		Unidades de TCC								
	(kg/ha)		V6	V7	V8	V9	V10	V12	V14	V16	VT
0	1.53		3.00	2.75	2.75	2.50	2.00	1.50	2.00	2.50	2.00
50	3.40		3.25	2.75	3.25	3.00	3.00	3.00	3.50	3.25	3.00
100	4.95		3.00	2.75	3.25	3.50	3.50	4.00	4.25	4.00	3.75
150	6.24		3.00	3.00	3.50	3.75	4.00	4.50	4.75	4.75	4.25
200	5.33		2.75	3.00	3.25	4.00	4.00	4.50	4.75	4.75	4.50
N†	**		NS	*	**	**	**	**	**	**	**

Dosis N (kg/ha)	Índice relativo de Clorofila									
	V6	V7	V8	V9	V10	V12	V14	V16	VT	
0	19.2	16.8	17.3	12.9	9.7	9.0	11.4	13.9	10.9	
50	17.9	17.7	21.2	18.9	21.0	25.4	27.3	22.7	23.0	
100	17.5	19.6	22.7	24.1	26.6	33.9	40.5	39.8	37.8	
150	18.1	19.5	25.4	26.3	35.1	47.9	51.8	49.4	48.1	
200	15.9	21.0	24.6	27.6	36.6	47.1	56.6	57.5	58.0	
N†	NS	NS	**	**	**	**	**	**	**	

†Niveles de N *Significancia al 5% ** Significancia al 1%

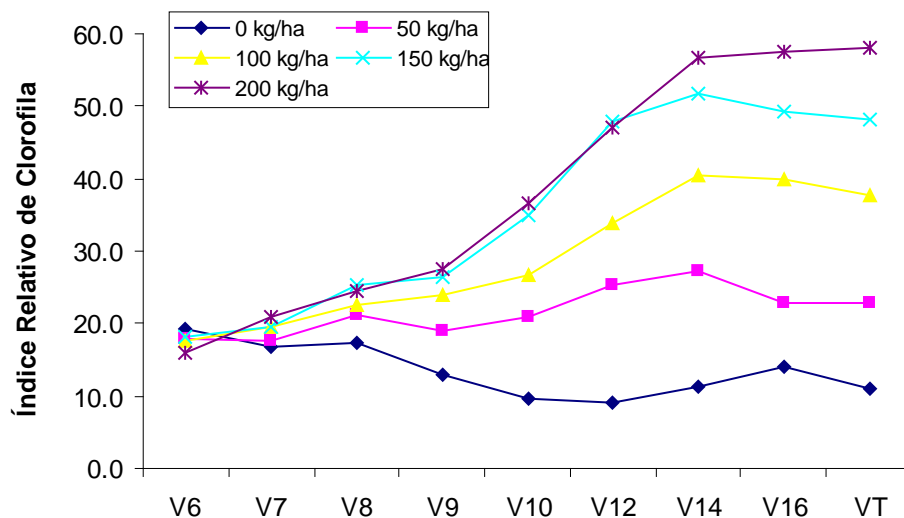


Figura 1. Efecto de la dosis de N en la variación del índice de color (índice relativo de clorofila)

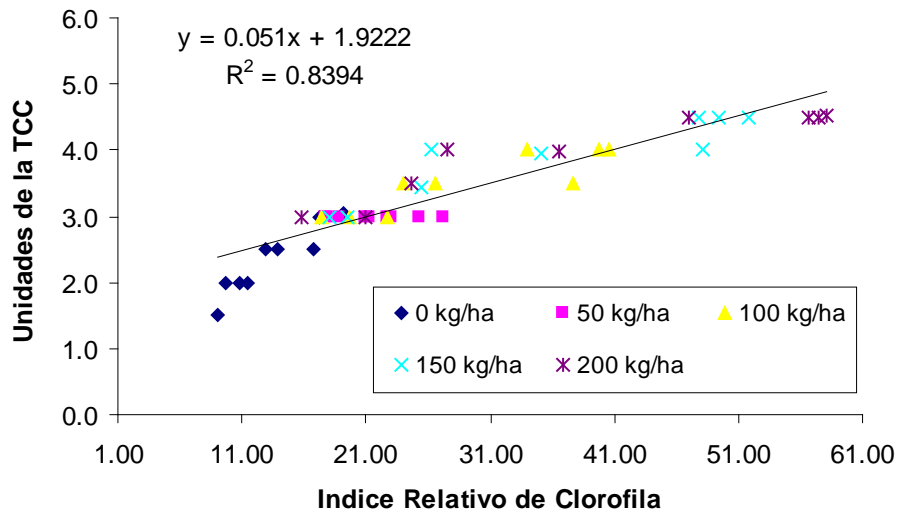


Figura 2. Correlación entre las unidades de lectura de la TCC y el índice relativo de clorofila.

Fertilización nitrogenada y disponibilidad de N cuantificada por el análisis químico del suelo

El análisis de varianza mostró que existen diferencias altamente significativas entre los niveles de N para todos los valores de N en el suelo cuantificados a través de los cuatro métodos de análisis, con excepción del N-NH_4^+ y NT en dos etapas de muestreo (**Figura 3**). El aumento de las dosis de N aplicado estuvo directamente relacionado con el incremento de la magnitud de N cuantificado por el análisis de N-NH_4^+ y N-NO_3^- en todas las épocas de muestreo. En el caso del ISNT se detectó una relación directa entre N en el suelo y aumento del nivel de N con excepción de una época de muestreo (V6), la cual precisamente muestra un máximo de disponibilidad a 100 kg de N/ha. En el caso de NT como era de esperarse, aunque hay diferencias significativas entre niveles de N aplicado, no existe la tendencia de aumento o disminución definida con el incremento del nivel de N aplicado al suelo. Estos resultados ratifican que el N es un elemento con una química muy dinámica en donde la cuantificación del NT no puede ser utilizada como una herramienta útil para conocer la disponibilidad del N durante el ciclo del cultivo; en tanto que con datos de N-NH_4^+ , N-NO_3^- ó N-ISNT se puede inferir sobre la disponibilidad del N. En el caso del último método existen reportes de que es un método capaz de predecir la falta de respuesta a la fertilización nitrogenada (Hoeft *et al.*, 2005), e incluso de reflejar historias de rotación y aplicación de abonos orgánicos (Boast *et al.*, 2003).

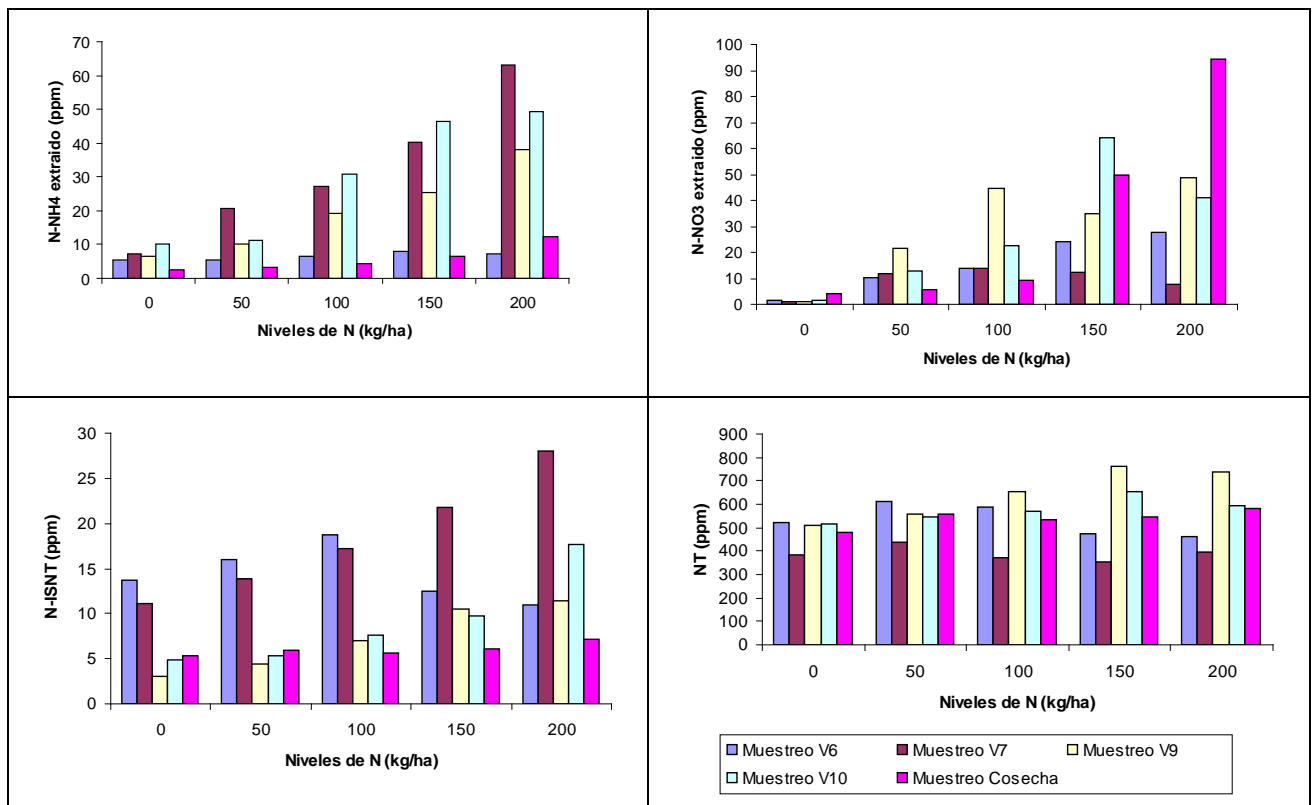


Figura 3. Efecto de la dosis de N en la disponibilidad de N en el suelo cuantificado a través de cuatro métodos de análisis químico.

Disponibilidad de N a través del tiempo y espacio

La disponibilidad del N, cuantificada a través de los análisis químicos del suelo, presentó variabilidad en función de la época y del sitio de muestreo. El análisis de varianza indicó diferencias altamente significativas para nivel de N, sitio de muestreo, época de muestreo y las interacciones para todos y cada uno de los métodos de análisis de N en el suelo. El N-NH₄⁺ y el N-ISNT indicaron que la mayor disponibilidad de N estuvo presente en las etapas fisiológicas V7 y V9 y la menor disponibilidad de N a la cosecha, lo cual es consistente con las épocas de aplicación del fertilizante nitrogenado en el suelo. De otra parte el N-NO₃ mostró mayor disponibilidad de N a la cosecha y menor disponibilidad en V7. Finalmente, el NT indicó la mayor cantidad de N asociado con V9 y la menor con V7. Las discrepancias halladas con estos dos últimos métodos de análisis con respecto a lo encontrado con el índice de verdor sugieren que estos dos métodos de análisis no son herramientas adecuadas para monitorear la disponibilidad de N durante el ciclo de cultivo.

La alta correlación entre el N-NH₄⁺ y el N-ISNT frente al índice de verdor, como se presenta en la **Tabla 4**, sugiere que el uso del análisis de suelo con estos métodos es totalmente válido para monitorear la disponibilidad de N durante el ciclo de cultivo del maíz bajo las condiciones edafo-climáticas de la zona en estudio.

Consistentemente, para todos niveles de N evaluados; así como, en las distintas etapas de muestreo y métodos de análisis, se encontró que la mayor cantidad de N en el suelo estuvo ubicada a 10 cm de la planta entre surcos, en tanto que la menor cantidad de N estuvo asociada con la posición a 40 cm de la planta entre surcos. Esta tendencia era la esperada pues el N es un elemento muy móvil en el suelo y por lo tanto mientras más distante sea el punto de muestreo

frente al punto de aplicación del fertilizante, la potencialidad de encontrar N en la solución del suelo es menor. De otra parte, el hecho de haber encontrado mayor cantidad de N entre surcos antes que entre plantas a la misma distancia (10 cm) responde a que el sistema radicular es más abundante entre plantas especialmente en las primeras etapas fisiológicas del cultivo; y por lo tanto existe mayor posibilidad de adsorción de nutrientes. De estos resultados se reafirma la importancia que tiene la forma de aplicación del fertilizante nitrogenado con respecto a la ubicación del sistema radicular de un cultivo para lograr la eficiencia esperada.

Tabla 4. Coeficientes de correlación de Pearson entre el índice de color (unidades de cuantificación de la TCC y el índice relativo de clorofila), el rendimiento relativo de grano de maíz y el N en el suelo determinado a través de cuatro métodos de análisis y en tres etapas fisiológicas del cultivo de maíz.

Análisis de N en el Suelo	Índice Relativo de Clorofila	Unidades TCC	Rendimiento Relativo de Grano
V7			
N-NH4	0.62	0.66	0.76
N-ISNT	0.58	0.65	0.76
V9			
N-NH4	0.79	0.79	0.76
N-ISNT	0.86	0.83	0.86
V10			
N-NH4	0.61	0.60	0.57
N-ISNT	0.74	0.70	0.56

Correlación y calibración de los análisis de suelos (ISNT y N-NH₄⁺) para el cultivo de maíz

La utilidad de un análisis de suelo se refleja en la eficiencia de este para predecir las probabilidades de respuesta de los cultivos a la fertilización; por lo que el análisis de suelo debe tener una buena correlación con el rendimiento. En la **Tabla 4** se observa que los métodos de análisis de N-NH₄⁺ e ISNT tienen una alta correlación con el rendimiento relativo para el cultivo de maíz. El método gráfico de Cate y Nelson permite establecer un nivel crítico para cada análisis de suelos y se utilizó el rendimiento relativo para reducir la variabilidad inherente a la localidad. La **Figura 4** muestra que el nivel crítico para el método de análisis de N-NH₄⁺ en este tipo de suelo para el cultivo de maíz es 24 ppm, el cual es consistente con el rango de niveles críticos establecidos y vigentes en el DMSA-EESC-INIAP. Como se puede observar en la **Figura 5** el nivel crítico para el método de análisis ISNT en este tipo de suelo y para el cultivo de maíz presenta es 20 ppm. Se requiere, sin embargo, robustecer la eficacia de este último método a través de la correlación y calibración del mismo en distintos tipos de suelo y cultivos de nuestro país.

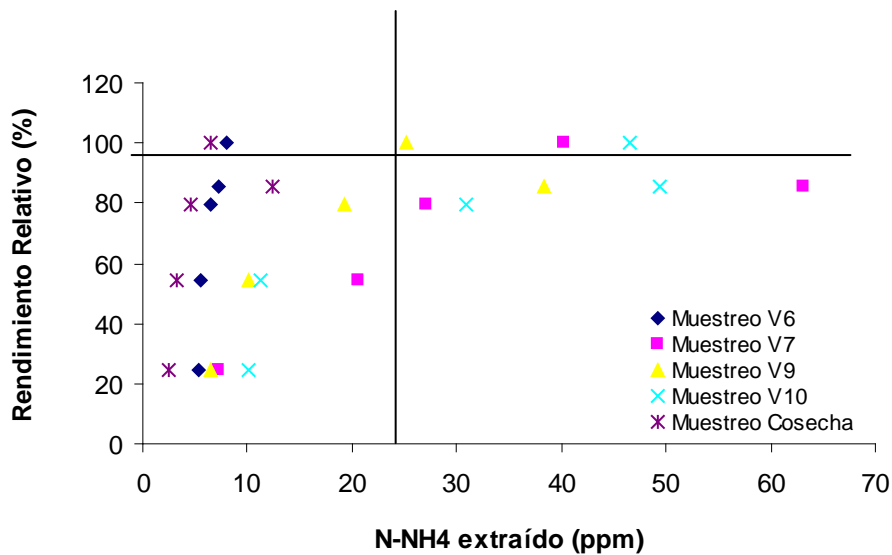


Figura 4. Determinación del nivel crítico para el análisis de N-NH₄ en suelos utilizando el rendimiento relativo en maíz.

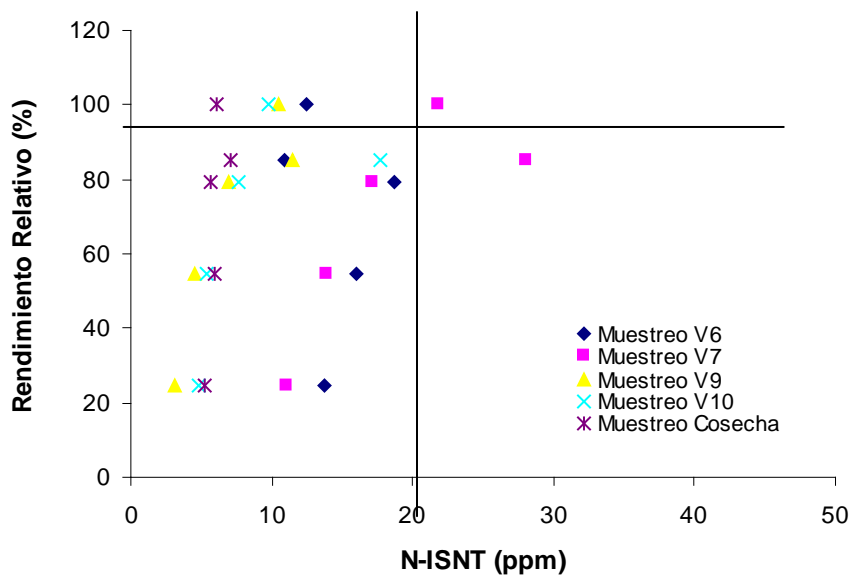


Figura 5. Determinación del nivel crítico para el análisis ISNT en suelos utilizando el rendimiento relativo en maíz.

CONCLUSIONES

- Las lecturas del índice de verdor medidas a través de las TCC ó del índice relativo de clorofila son herramientas válidas para ajustar el fraccionamiento de la fertilización nitrogenada durante las etapas fisiológicas de mayor sensibilidad al estrés por falta de N (V6 a V12).
- El potencial del uso de análisis de suelos como herramienta de diagnóstico de disponibilidad de N en el suelo es alto en el caso del N-NH₄⁺ y del ISNT. Este último parecería ser un método promisorio que necesita ser validado en otros tipos de suelo y bajo diferentes cultivos.
- Se verificó que el método para determinación de N-NH₄⁺ extraído con Olsen Modificado pH 8.5 vigente en el laboratorio del DMSA-EESC del INIAP está

correlacionado y calibrado agronómicamente para el cultivo de maíz bajo las condiciones edafo-climáticas de la zona donde se estableció el ensayo.

- La época y el lugar de aplicación del fertilizante nitrogenado con respecto al sistema radicular de la planta son factores claves para que una fertilización nitrogenada sea eficiente, considerando que este elemento es muy dinámico en el suelo; sujeto a transformaciones constantes a través del tiempo y el espacio.
- Un buen análisis de suelo cuantifica eficientemente la cantidad del nutriente que esta correlacionada con la que efectivamente es tomada por la planta, por lo que también esta correlacionado con el rendimiento del cultivo.

BIBLIOGRAFIA

- Boast , C. W., T. R. Ellsworth, T.J. Smith, R. L. Mulvaney, S. A. Khan, E. M. El.Naggar, y R. G. Hoelt. 2003. Spatial and temporal variability in the Illinois N test. In: Illinois Fertilizer Conf. Proc. 2003. R. G Hoelt (ed.).
- García, J. P., y J. Espinosa. 2008. Relación del índice de verdor con la aplicación de nitrógeno en diez híbridos de maíz. *Informaciones Agronómicas*. IPNI.
- Hoelt, R. G., E. D. Nafziger, L. C. Gonzini, T. K. Lehman, M. Ruffo and A. Gulso. 2005. Illinois Soil N Test: Temporal and spatial variation and prediction of nitrogen response. In: Hoelt, R. R. (ed.). *Illinois Fertilizer Conf. Proc.* 2005.
- Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP). 2007. Informe anual. Departamento de Manejo de Suelos y Aguas-Estación Experimental Santa Catalina. Quito-Ecuador.
- Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP). 2008. Informe anual. Departamento de Manejo de Suelos y Aguas-Estación Experimental Santa Catalina. Quito-Ecuador.
- Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP). 2009. Informe anual. Departamento de Manejo de Suelos y Aguas-Estación Experimental Santa Catalina. Quito-Ecuador.
- Khan, S. A., R. L. Mulvaney, and R. G. Hoelt. 2001. A simple soil test for detecting sites that are non responsive to nitrogen fertilization. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 65:1751-1760.
- Mulvaney, R. L., S. A. Kahn, R: G. Hoelt, and H. M. Brown. 2001. A soil organic nitrogen fraction that reduces the need for nitrogen fertilization. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 65:1164-1172.
- Witt, C., J. M. C. A. Pasuquin, R. Mutters, and R. J. Buresh. 2005. New leaf color chart for effective nitrogen management in rice. *Better Crops With Plant Food* 89(1):36-39.