

# INFORMACIONES

## AGRONOMICAS



INSTITUTO DE LA POTASA Y EL FOSFORO  
POTASH AND PHOSPHATE INSTITUTE

Nº 12

JULIO 1993

### CONTENIDO

	Página
La Ley del Máximo	1
Interacción positiva entre la fertilización y la época de siembra en el rendimiento de maíz en Ecuador	4
Respuesta de la soya al Mo en suelos arenosos de Brasil	6
Avances y tendencias en las técnicas de fertilización (Parte I)	7
Nuevas tendencias en las relaciones Ca:Mg	10
Reporte de investigación reciente	11
Cursos y Simposios	13
Publicaciones de INPOFOS	14

Editor: Dr. José Espinosa

### LA LEY DEL MAXIMO \*

*Se han usado dos diferentes Leyes del Mínimo para describir como los factores limitantes se relacionan con la producción de cultivos. Ambas leyes provienen de Alemania. La primera se formuló en 1843 y la otra en 1909. La primera lleva el nombre de Liebig, quien fue el pionero del concepto de la nutrición mineral de las plantas. La segunda lleva el nombre del científico que la desarrolló, Mitscherlich.*

La Ley del Mínimo de Liebig indica que el rendimiento de los cultivos está regulado por el factor más limitante y que el rendimiento se puede incrementar únicamente con la corrección de ese factor limitante. Cuando esta limitación se ha corregido, los rendimientos pasan a ser regulados por el siguiente factor limitante. Incrementos posteriores en rendimiento ocurrirán solamente si este factor es corregido. Este proceso se repite con incrementos de rendimiento escalonados hasta que no existan factores limitantes.

Por otro lado, la Ley del Mínimo de Mitscherlich indica que el rendimiento está influenciado por todos los factores limitantes simultáneamente. La influencia de cada uno de los factores limitantes es proporcional a su grado de limitación. Con esta ley, el rendimiento obtenido, en un conjunto dado de condiciones, está en relación a la suma integrada de todos los factores limitantes remanentes. Es posible expresar matemáticamente el grado de cada limitación con datos obtenidos en experimentos de laboratorio y campo. Con estos datos es posible calcular los rendimientos esperados a medida que se corrigen los factores limitantes.

\* Wallace, A. Profesor Emérito, Laboratorio de Ciencias Biomédicas y ambientales, Universidad de California, Los Angeles.

En la práctica, existen condiciones donde ambas leyes del mínimo operan, pero es importante reconocer que aún dentro de este concepto las dos pueden ser identificadas independientemente. De hecho algunos factores limitantes son tan severos, que la aplicación de medidas correctivas que eliminen a los factores menos limitantes obtienen poco o ningún incremento en rendimiento, a menos que, se hayan corregido antes los factores limitantes más severos. Sin la corrección de estos factores limitantes severos, la aplicación de medidas correctivas puede causar hasta reducción del rendimiento. Los factores limitantes severos encajan dentro de la ley de Liebig. Por el contrario, y solamente cuando ya no existen factores de tipo Liebig, se pueden obtener respuestas favorables a cada medida correctiva de un factor limitante del tipo Mitscherlich. En realidad no interesa en que orden estos factores limitantes se corrigen en tanto que estos se mantengan en relación con el estado fisiológico del cultivo. El orden no es importante para aquellos factores limitantes del tipo Liebig, los más severos deben ser corregidos primero o la respuesta a la corrección de los menos severos será mínima.

El objetivo principal del análisis foliar y del análisis de suelo es el de identificar factores limitantes que pueden ser corregidos. Los dos tipos de factores limitantes pueden ser adecuadamente identificados. Mientras mayor sea la cantidad de factores limitantes a corregirse mayor será el incremento en el rendimiento, siempre y cuando se hayan corregido todos los factores limitantes del tipo Liebig.

### INTERACCIONES Y LA LEY DEL MÁXIMO

En las condiciones actuales de producción en lugar de Leyes del Mínimo, se debe hablar de una Ley del Máximo. La Ley del Máximo no puede operar si existen factores limitantes del tipo Liebig. Esta ley tiene dos características principales: 1) El efecto de una medida correctiva se incrementa progresivamente a medida que otros factores limitantes son corregidos. El resultado final es más grande que la suma de los efectos individuales debido a la forma en la cual ellos interaccionan. La interacción multiplica los efectos de cada uno. 2) Los rendimientos pueden ser los más altos o máximos solamente si no existen o permanecen factores limitantes. Mientras menos factores limitantes existan mayor será el rendimiento del cultivo. Que tan cerca de este punto se puede llegar depende, por supuesto, de factores económicos. Afortunadamente cuando se están manejando factores del tipo Mitscherlich se pueden escoger primero aquellos más económicos.

### EJEMPLOS

A continuación se presentan algunos ejemplos de como opera la Ley del Máximo.

- Una aplicación de potasio (K) resultó en un incremento en rendimiento de naranja de 37 kg/árbol. Cuando se aplicó simultáneamente con fósforo (P), el incremento atribuido al K fue de 52 kg/árbol. Cuando se aplicó con P y nitrógeno (N), el incremento atribuido al K fue de 92 kg/árbol (datos de la Universidad de California). En todos los casos se aplicó la misma cantidad de K. El K fue casi dos y medio veces más valioso cuando se aplicó con N y P que cuando se aplicó solo.
- La respuesta de caña de azúcar a la aplicación de K se incrementó progresivamente de 10.9 a 14.1 t/ha cuando un segundo factor limitante fue corregido (el primero fue K), a 16.3 con un tercero, a 24.0 con un cuarto, a 31.4 con un quinto, a 35.0 con un sexto y a 41.5 con un séptimo (datos de la compañía Pakistaní de azúcar). El incremento del rendimiento debido a K fue 3.8 veces mayor a medida que cada factor limitante adicional era corregido.

Una explicación más amplia de como interaccionan las diferentes medidas correctivas en este experimento es posible al analizar la respuesta relativa de cada uno de los 7 factores del sistema. Si se considera la parcela testigo como 1.0 los valores de las medidas correctivas fueron: 1.30 para el tratamiento de la semilla con agua caliente para el control de enfermedades fungosas, 1.15 para fungicidas, 1.50 para manejo de urea, 1.3 para un herbicida, 1.30 para el tratamiento con K, 1.10 para el programa de micronutrientes y 1.20 para la aplicación de otros nutrientes en banda. El rendimiento final fue  $1.30 \times 1.15 \times 1.50 \times 1.30 \times 1.30 \times 1.10 \times 1.20 = 5.0$  o un incremento 5 veces mayor. La respuesta fue una multiplicación y no una suma que solamente totaliza 185%. Esto explica efectivamente la Ley del Máximo.

- En otro ejemplo, la aplicación de P incrementó el rendimiento de repollo en 14.0 t/ha y la de K en 17.3 t/ha. Cuando se aplicaron juntos el incremento fue de 40.8 t/ha (datos de la Universidad de Cornell). El resultado es más grande que la suma de sus partes lo cual es una importante característica de la Ley del Máximo. El valor de una medida correctiva se incrementa a medida que se corrigen otros factores limitantes. En este caso, el incremento de rendimiento como respuesta a P solamente fue de

14.0 t/ha pero cuando se utilizó con K el incremento en rendimiento fue de 26.8 t/ha.

Estos ejemplos dan una nueva visión a los Rendimientos Económicos Máximos (REM). El agricultor obtendrá más por cada dólar invertido cuando se corrijan simultáneamente la mayoría de factores limitantes posibles, especialmente aquellos que para corregir son baratos o no tienen costo. Este proceso se denomina manejo de las prácticas adecuadas de cultivo, pero se puede también denominar prácticas de manejo de alta precisión.

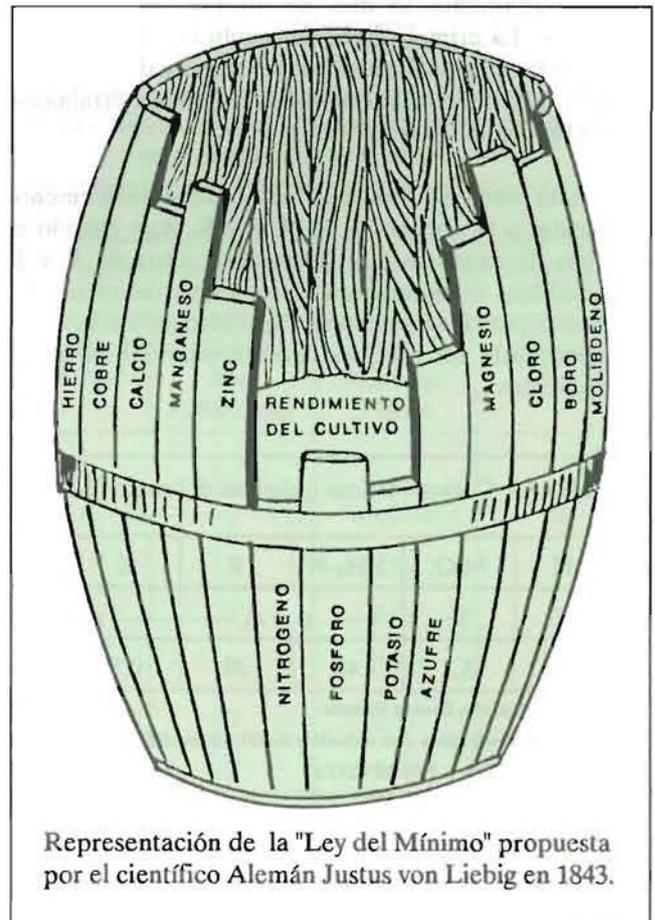
Para mantener un sistema de producción de manejo intensivo es necesario identificar todos los factores limitantes y el grado de limitación de cada uno de ellos. Esto es posible con una combinación de diagnóstico de laboratorio, investigación de campo, integración de datos de investigación disponibles y la experiencia en el manejo del cultivo.

La aritmética utilizada con las variables en el experimento de caña de azúcar indica el grado de posibilidad de respuesta del cultivo (conocido también como fracción de la acción múltiple para rendimiento). Se determinaron los siguientes valores: 0.77 para el tratamiento de semilla, 0.87 para el tratamiento con fungicida, 0.67 para el tratamiento con urea, 0.77 para el efecto de malezas, 0.77 para el tratamiento con K, 0.91 para los micronutrientes y 0.83 para los otros nutrientes. Todos estos valores multiplicados dan un valor final de 0.20 o 20%. El rendimiento de la parcela control fue de 37 t/ha, aproximadamente 20% del rendimiento más alto obtenido que fue de 180 t/ha.

Estos cálculos indican lo importante que son los efectos de las prácticas de manejo de alta precisión y cuán devastadoras pueden ser las pequeñas desviaciones de las necesidades exactas para la producción del cultivo. Por ejemplo, si se considera 100% al rendimiento posible de obtenerse y que todos los factores, excepto 1, son óptimos, el rendimiento final será lo que el factor no controlado represente pudiendo ser 50, 80 o 90%. Dos factores no controlados de 90% de limitación darían 81% del rendimiento posible de obtener ( $0.90 \times 0.90 = 0.81$ ). Con cinco de estos factores el rendimiento sería de 59% y con 10 solamente de 35%. Este es el punto donde el rendimiento se encuentra en muchos lugares del mundo. Por ejemplo en los Estados Unidos el rendimiento máximo de maíz obtenido es de 23 t/ha y el rendimiento promedio nacional es 35% o 8.0 t/ha. El agricultor puede hacer todo a un 90% de perfección y obtener solamente el 35% del rendimiento posible.

Para mejorar esta condición se requiere de diagnósticos de laboratorio precisos, programas de computación para toma de decisiones y consultoría experta. Puede que sea un poco más costoso el llegar al 95% de perfección, pero para 10 factores, el rendimiento pasará de 35% a 60%, lo cual en maíz en los Estados Unidos sería 13.8 t/ha. Algunos agricultores lo logran con el uso de los principios de la Ley del Máximo.

Se enfatiza que para llegar a obtener rendimientos máximos con manejo de alta precisión, se debe evitar los excesos en el uso de insumos. Solamente se utiliza lo que es necesario, de esta forma se evitan problemas ambientales conociéndose también que el exceso de insumos contribuye a la reducción de rendimientos. Es esencial que el agricultor planifique cuidadosamente para lograr precisión en el uso de los insumos y de esta forma obtener rendimientos altos de los cultivos. Los efectos de los insumos y su interacciones pueden ser matemáticamente programados. Cuán cerca a los rendimientos máximos se puede llegar depende de la habilidad del manejo de la Ley del Máximo, junto con el uso de principios y realidades económicas y ambientales.



Representación de la "Ley del Mínimo" propuesta por el científico Alemán Justus von Liebig en 1843.

## INTERACCION POSITIVA ENTRE LA FERTILIZACION Y LA EPOCA DE SIEMBRA EN EL RENDIMIENTO DE MAIZ EN ECUADOR\*

*La región de Quevedo, en la costa tropical ecuatoriana, es el área de mayor producción de maíz del país. Los promedios de rendimiento en la región son de alrededor de 4 t/ha. Estos rendimientos pueden incrementarse con mejoras en el manejo del cultivo que incluyen la utilización más eficiente de los insumos y la precisión en la época de siembra.*

El obtener rendimientos más altos reduce el costo por unidad de producción e incrementa la rentabilidad. Esta investigación demuestra los beneficios de la época apropiada de siembra y la adecuada fertilización en la producción de maíz. Este estudio se condujo en un inceptisol cuyas características químicas se presentan en la Tabla 1.

La mitad del área del experimento se fertilizó con 150 kg/ha de nitrógeno (N), 46 kg/ha de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y 30 kg/ha de K<sub>2</sub>O. El fósforo (P) y el potasio (K) se aplicaron al voleo y se incorporaron antes de la siembra. El N se aplicó en banda en dos fracciones a los 15 y 30 días después de la siembra. La otra mitad del experimento no fue fertilizada. Se sembró el híbrido de maíz INIAP-H-550 con aproximadamente 15 días de intervalo en 6 fechas diferentes. La primera fecha de siembra coincidió con el inicio de la estación lluviosa que se extiende de diciembre a mayo. Las diferencias estadísticas fueron determinadas con la prueba de Tukey.

En esta zona se han documentado anteriormente respuestas a la aplicación de N, P y K. Aun cuando el análisis de suelo indica contenidos altos de P y K disponibles, se incluyeron dosis bajas de estos dos nutrientes para mantener la alta fertilidad del suelo, como es apropiado en un programa comercial de altos rendimientos.

Los rendimientos de grano se incrementaron sustancialmente tanto por la fertilización como por la siembra temprana (Figura 1). El efecto más dramático se presentó con la época de siembra. El rendimiento más alto (9 t/ha) se obtuvo con el tratamiento fertilizado en conjunto con la fecha más temprana de siembra, en comparación con el tratamiento sin fertilización sembrado el 2 de marzo con solamente 1.4 t/ha (un incremento de 6 veces). Esta diferencia de 7.6 t/ha es "maíz gratis" obtenido solamente con la utilización de la época precisa de siembra. Es importante el observar que no se han incrementado los costos de inversión.

La tendencia general de respuesta fue la misma en los tratamientos fertilizados y en los no fertilizados. Los rendimientos decrecieron significativamente en forma constante desde la primera época de siembra hasta la siembra hecha el 2 de marzo. La última época de siembra (marzo 17) resultó en un ligero incremento en rendimiento.

A ningún momento el experimento sufrió por falta de agua. La precipitación total recibida hasta la última cosecha fue de 1880 mm, suficiente para satisfacer los requerimientos de agua al cultivo. La precipitación promedio anual de la zona es de 2100 mm. La reducción del rendimiento con el tiempo, a medida que la estación lluviosa avanza, puede deberse a la gradual saturación de

la zona radicular con la consecuente reducción en aeración y absorción de nutrientes. De igual manera la presión de insectos se incrementó con el tiempo afectando el estado vegetativo y reproductivo del cultivo.

La fertilización incrementó significativamente el rendimiento, al menos en los lotes de siembra temprana. Nótese la **interacción positiva** con la época temprana de siembra (Figura 1). La respuesta más alta a la fertilización se presentó con la fecha más temprana de

Tabla 1.- Características químicas del suelo (0-15 cm)

pH	M.O.	NH <sub>4</sub> -N	P	K	Ca	Mg
	%	----- p p m -----		----- me q/100 cc -----		
6.5	5.1	42	28	0.5	13.1	0.9
Suelo de textura franco limoso						
Nutrientes extraídos con solución de Olsen modificada (0.5N NaHCO <sub>3</sub> + 0.01 M EDTA)						

\* Amores, F. Director de la Estación Experimental Pichilingue, Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias, Quevedo, Ecuador.

siembra, 2.8 t/ha de incremento. La respuesta a la fertilización en las últimas tres fechas de siembra fueron solamente de 0.1 a 0.6 t/ha. Este es un dramático efecto en la eficiencia del uso de fertilizantes y claramente demuestra la oportunidad de incrementar la producción al realizar las operaciones de manejo del cultivo a tiempo y en armonía con el uso de fertilizantes y otros insumos esenciales de la producción.

En la Tabla 2 se presentan las características de crecimiento y los factores de rendimiento de las parcelas fertilizadas. Las parcelas sembradas temprano en la época lluviosa produjeron plantas más grandes como se evidenció por el tamaño de la mazorcas. Existió una tendencia a menor incidencia de pudrición de la mazorca. El acame del cultivo fue extremadamente variable y las diferencias encontradas no fueron estadísticamente diferentes.

## RESUMEN

En este experimento se encontró una fuerte interacción entre la fertilización y la fecha de siembra del maíz. El rendimiento más alto y la mayor respuesta de fertilización ocurrió con la fecha más temprana de siembra (diciembre 30) y se redujo constantemente desde esta fecha hasta marzo.

Los resultados enfatizan la importancia de un manejo completamente integrado e inteligente del cultivo del maíz. El fertilizante aplicado en fecha adecuada (150 kg/ha de N, 46 kg/ha de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y 30 kg/ha K<sub>2</sub>O) produjo un rendimiento adicional de hasta 2.8 t/ha, frente a la ausencia de respuesta (0.1 t/ha) en el maíz sembrado tardíamente. Aún cuando este experimento no fue diseñado para determinar la respuesta a los nutrientes individuales, es obvio que la utilización de nutrientes y los beneficios económicos se incrementaron apreciablemente con la siembra del maíz en la época correcta.

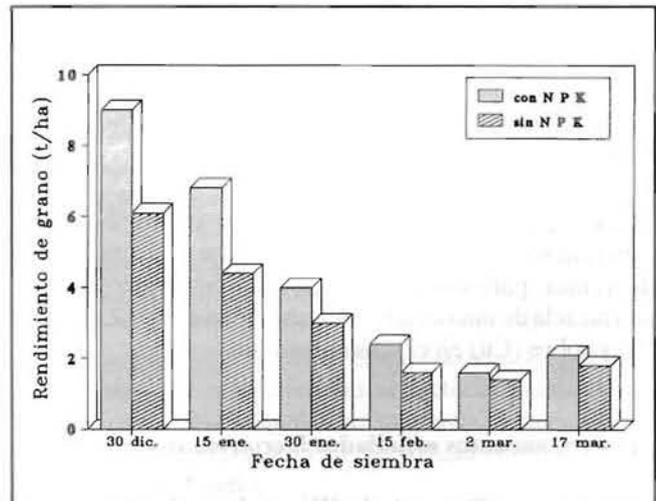


Figura 1.- Interacción fertilizantes-época de siembra en el rendimiento del maíz.

Tabla 2.- Efecto de la fecha de siembra en las características de crecimiento y factores de producción del maíz.

Fecha de siembra	Altura de la mazorca	Tamaño de la mazorca		Mazorcas Podridas	Mazorcas Mal Polinizadas	Relación Mazorca: Planta	Acame
		Largo	Diámetro				
	metros	centímetros		----- % -----		número	%
Diciembre 30	1.36	13.6	4.88	3	1	1.02	4
Enero 15	1.42	13.3	4.76	6	4	0.91	29
Enero 30	1.31	12.4	4.65	9	5	0.81	27
Febrero 15	1.26	11.9	4.42	14	3	0.61	35
Marzo 2	0.86	10.0	4.33	9	7	0.64	6
Marzo 17	0.98	11.6	4.42	11	5	0.70	10

Datos de las parcelas fertilizadas con NPK

## RESPUESTA DE LA SOYA AL MOLIBDENO EN SUELOS ARENOSOS DE BRASIL \*

En el noroeste del estado de Sao Paulo, Brasil, donde los suelos se clasifican como Latosoles Rojos Amarillos de textura arenosa, existen aproximadamente 30000 hectáreas sembradas con soya en rotación con caña de azúcar y pastos. En estas áreas los agricultores observaron que los rendimientos de la soya eran bajos, con un rendimiento promedio de alrededor de 1700 kg/ha.

Se llevó a cabo un estudio entre agricultores para determinar el tipo de fertilizante utilizado. La información obtenida indicó el uso de fórmulas con buen contenido de fosfatos.

Con esta información en mano se condujo un experimento en lotes de agricultores, en dos localidades diferentes, para evaluar el efecto del molibdeno (Mo) y una mezcla de micronutrientes que incluye zinc (Zn), boro (B) y cobre (Cu) en el rendimiento de la soya.

### Los tratamientos estudiados fueron los siguientes:

1.- Fósforo (P) y potasio (K) en dosis de 60 kg/ha de  $P_2O_5$  y 60 kg/ha  $K_2O$  en forma de superfosfato simple y cloruro de potasio.

2.- PK y Mo (25 gramos de molibdato de amonio aplicado a 40 kg de semilla de soya antes de la siembra).

3.- PK + Mo + Zn + B + Cu (5 kg/ha de  $ZnSO_4$ , 1 kg/ha de borax y 5 kg/ha de  $CuSO_4$ ).

Solamente el Mo fue aplicado a la semilla después de la inoculación y los micronutrientes Zn, B y Cu se mezclaron con las fuentes de P y K y se aplicaron en el surco al momento de la siembra.

Los resultados presentados en la Tabla 1 demuestran que el tratamiento testigo (PK) produce un buen rendimiento, pero el tratamiento PK y Mo rindió más que el testigo durante todos los años de investigación produciendo un rendimiento 20% mayor.

El tratamiento con los otros micronutrientes produjo rendimientos iguales a los del segundo tratamiento, demostrando que el Zn, B y Cu no tuvieron efecto en el rendimiento.

Tabla 1.- Efecto del molibdeno en el rendimiento de soya.

Tratamiento	Sitio 1		Sitio 2			Promedio	Rendimiento relativo
	86-87	87-88	86-87	87-88	88-89		
	-----kg/ha-----						%
PK	2159	2009	2375	2454	2023	2204	100
PK + Mo	2697	2505	2662	2788	2601	2651	120
PK + Zn + B + Cu	2676	2510	3069	2655	2497	2681	122

\* Tanaka, R. T. A. A. Mascarenhas y M. A. C. Miranda. Investigadores del Departamento de Leguminosas. Instituto Agronómico de Campinas, Sao Paulo Brasil.

## AVANCES Y TENDENCIAS EN LAS TECNICAS DE FERTILIZACION (Parte I) \*

*Como consecuencia de consideraciones de varios tipos existe interés sin precedentes en mejorar la eficiencia de los fertilizantes. El colocar el fertilizante en el lugar adecuado de la zona radicular es tan importante como aplicar la cantidad correcta de nutrientes. Esta es la primera parte de una serie de tres artículos que discuten las nuevas tendencias en técnicas de fertilización de cultivos desarrolladas en los últimos años.*

### LOCALIZACION DEL FERTILIZANTE EN EL SUELO

#### Objetivos de la localización del fertilizante

El colocar el fertilizante en el lugar adecuado de la zona radicular es tan importante como aplicar la cantidad correcta de nutrientes. Existen cuatro amplios objetivos que deben considerarse en la localización de fertilizantes (Randall & Hoeft, 1988). Estos objetivos son:

- Lograr un uso eficiente de los nutrientes desde la emergencia de la planta hasta la madurez
- Prevenir o reducir el potencial efecto dañino al ambiente
- Prevenir daños a la planta por acumulación de sales
- Permitir que las operaciones de aplicación de fertilizantes en la finca sean convenientes y económicas.

El cumplimiento de estos objetivos está influenciado por varios factores incluyendo las propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo, las propiedades físicas y químicas de los fertilizantes, las integraciones nutricionales en la planta, los mecanismos de transporte de nutrientes a las raíces, la necesidad total de nutrientes de la planta y los patrones de absorción de nutrientes durante el ciclo de crecimiento. También tienen marcada influencia las condiciones ambientales, especialmente humedad, temperatura, radiación y cantidad de dióxido de carbono, prácticas de labranza, sistemas de cultivo, y tipo de equipo de aplicación de fertilizantes. Es aparente que existen una gran cantidad de factores y condiciones que influyen la selección de una técnica particular de aplicación de fertilizante y su efectividad en el manejo de la fertilidad del suelo.

Tabla 1. Localización y método de aplicación de fertilizantes (modificado de Randall et al., 1985).

Sitio de localización	Método de aplicación
Superficie del suelo	- voleo - banda - riego
Bajo la superficie del suelo	- voleo e incorporación - voleo e incorporado a diferentes profundidades con otras operaciones de labranza - banda a lo largo del surco con la semilla - banda alegado de la semilla - banda profunda antes de la siembra conocida también como localización profunda, banda de presiembra o banda en la zona radicular
Directamente sobre la planta	- riego - aspersión foliar - fertirrigación con sistemas de riego por aspersión

\* Beaton, J. Presidente del Instituto de la Potasa y el Fósforo Canadá "PPIC". Saskatoon Canadá.

## Terminología de la localización de los fertilizantes.

Antes de describir condiciones específicas de suelo y cultivos que necesitan nuevas e innovadoras técnicas de fertilización, se debe clarificar la terminología actual de los métodos de localización de fertilizantes. La Tabla 1 categoriza los varios procedimientos de acuerdo al sitio y método de localización. Con excepción de la aplicación foliar, los fertilizantes normalmente se aplican en la superficie o bajo la superficie del suelo, a varias profundidades, en la zona radicular. El método de localización o distribución física del fertilizante se basa normalmente en alguna forma de aplicación al voleo o en banda. Muchas de las nuevas técnicas de fertilización están relacionadas con la aplicación en banda o con aplicación aun más concentrada bajo la superficie del suelo.

A continuación se presentan las definiciones y explicación de los términos de localización de fertilizantes usados frecuentemente (Murphy, 1984 a,b., Murphy, 1985; Murphy y Beaton, 1988; Randall y Hoef, 1986):

### Aplicación al voleo.

Esta es una aplicación de fertilizante sólido o líquido a la superficie del suelo con o sin incorporación subsecuente con labranza. No implica ninguna localización específica con relación a la planta. Se puede aplicar antes o después de que el cultivo ha sido sembrado. Las aplicaciones al voleo son particularmente adecuadas para la aplicación de dosis altas de P y K con el propósito de elevar la fertilidad del suelo con el incremento consecuente de los niveles de estos nutrientes en el suelo.

Este método de aplicación es también adecuado para las operaciones de alta velocidad conducidas con equipo grande en áreas agrícolas grandes. La aplicación al voleo tiene la ventaja adicional de proveer de una cobertura completa del suelo necesaria en la combinación fertilizante-herbicida.

En algunas condiciones la aplicación al voleo es menos eficiente que los métodos de aplicación bajo la superficie. Las limitaciones más serias de la aplicación al voleo se identificarán más adelante en este artículo.

### Aplicación en banda.

Este tipo de aplicación localiza el fertilizante sólido o líquido en bandas de diferente ancho en la superficie del suelo. Con esta aplicación se forman zonas de alta concentración de nutrientes que mejoran la eficiencia de uso de los fertilizantes.

### Aplicación en banda a lo largo del surco.

Este método aplica el fertilizante sólido o líquido en una banda a lo largo del surco del cultivo en crecimiento.

### Aplicación al voleo sobre el cultivo.

Esta es una aplicación de fertilizantes sólidos o líquidos, generalmente en cereales de grano pequeño o pastos, después de que el cultivo se ha establecido. No existe incorporación del fertilizante y esta forma de aplicación también puede ser hecha como una banda superficial. Este método de fertilización es frecuentemente utilizado para añadir N a los cereales de grano pequeño y pastos y para aplicar otros nutrientes como P, K y S a alfalfa y otras leguminosas.

### Fertigación.

Este sistema consiste en la aplicación de fertilizantes en el agua de riego sin importar el tipo de irrigación. Se usa más comúnmente para la aplicación de N, antes que para P y otros nutrientes. En general se usan fuentes de nutrientes líquidos. La selección de la forma de P a utilizarse en fertigación es crucial para evitar reacciones que formen productos relativamente insolubles en el agua. El ácido ortofosfórico se utiliza con éxito en fertigación aún en presencia de altas concentraciones de sales de calcio en el agua. La aplicación de P a través del sistema de irrigación por goteo resulta en concentraciones extremadamente altas de P alrededor de los goteros, con un mayor movimiento de P en el suelo de lo que normalmente se esperaría.

Se pueden presentar molestosas precipitaciones de calcita, cuando se añade amoníaco anhidro u otros fertilizantes que contengan amoníaco libre, a aguas de irrigación que contengan altas concentraciones de Ca, Mg y  $\text{HCO}_3$ . Los problemas de taponamiento se pueden prevenir o corregir añadiendo ácido al agua.

Este método es usado frecuentemente en árboles frutales, hortalizas y otros cultivos de manejo intensivo. El tamaño de la gota, fuente de nutrientes y época de aplicación durante el día son factores que influyen la absorción de nutrientes y el quemado de las hojas.

### Aplicación en banda bajo la superficie.

Esta es una aplicación de fertilizantes sólido o líquido, en una banda bajo la superficie del suelo, a lo largo de la hilera del cultivo, después de que las plantas han emergido.

### **Aplicación de pequeñas cantidades de fertilizante con la semilla.**

Con este método se añaden pequeñas cantidades de fertilizantes sólidos o líquidos, en contacto directo con la semilla, para estimular crecimiento inicial.

### **Aplicaciones de arranque.**

Estas son aplicaciones de fertilizantes sólidos o líquidos al momento de la siembra en diferentes posiciones en contacto directo con la semilla, bajo la semilla, o al lado y debajo de la semilla. Este tipo de definición no implica ninguna localización del fertilizante en particular. Las dosis de aplicación son generalmente más altas que aquellas usadas con la aplicación de fertilizante junto con la semilla, pero si se aplican junto a la semilla se debe controlar la cantidad para evitar daños en la germinación y a la plántula.

### **Aplicación en banda profunda.**

Es la aplicación profunda de fertilizantes sólidos o líquidos, generalmente a 5-10 cm bajo la semilla. En algunas áreas esta técnica de fertilización se lleva a cabo varios meses antes de la siembra del cultivo. A menudo se hace conjuntamente con las primeras labores de labranza.

El término aplicación "dual" significa el uso de amoníaco anhidro como la principal fuente de N acompañado de la aplicación de otros fertilizantes P, K, S, etc., en la misma banda bajo la superficie.

Las dosis de nutrientes aplicadas con las técnicas de banda profundas son normalmente mucho más altas que las dosis utilizadas con el método de aplicaciones de arranque.

### **Modificaciones experimentales de la banda profunda.**

La aplicación profunda en pequeñas áreas concentradas, (bolsas) y el uso de gránulos grandes en la inyección localizada son técnicas experimentales para concentrar fertilizantes, principalmente fuentes que contienen formas amoniacales de N, en zonas aproximadamente a la misma profundidad que las bandas bajo la superficie del suelo previamente descritas.

A menudo se usan fuentes sólidas de N como la urea y el sulfato de amonio pero también se pueden utilizar gránulos grandes de urea (1 a 3 g cada uno) que se aplican en forma similar. Se pueden también usar fertilizantes en solución que se localizan en un área concentrada en la zona radicular por medio de sistemas de aplicación de alta

presión. Los fertilizantes líquidos o el amoníaco anhidro se los puede confinar a pequeñas áreas en la zona radicular mediante inyección localizada.

En regiones del occidente del Canadá se han logrado substanciales reducciones en pérdidas de N, principalmente debidas a denitrificación y lixiviación, con la localización de urea sólida y otras formas amoniacales de N en puntos ubicados a 46 cm el uno del otro y a una profundidad de 5 a 6 cm (Malhi y Nyborg, 1985). El mismo efecto se obtuvo con gránulos grandes de urea (Nyborg y Malhi, 1979) que han sido estudiados para la fertilización de bosques y arroz.

Estudios en Iowa (Baker et al., 1985) y Alberta (Janzen y Lindwall, 1987, 1988) han demostrado que la inyección localizada de fuentes líquidas de N, a una profundidad de 10 cm y con un espaciamiento de 20 cm entre sitios de inyección, mejora la eficiencia de los fertilizantes nitrogenados.

### **Fertilización foliar.**

Esta es la aplicación de pequeñas cantidades de nutrientes al follaje de las plantas en crecimiento. No es común con la excepción de árboles frutales y hortalizas. Se usa comúnmente para aplicar N y micronutrientes.

## **BIBLIOGRAFIA**

- Baker, J.L., T.S. Colvin, S. J. Marley and M. Dawelbeit. 1985. Improved fertilizer management with a point-injector applicator. Paper No. 85-1516. 1985 Winter Meeting ASAE, Chicago, IL.
- Janzen, H.H., and C.W. Lindwall. 1987. Nitrogen fertilization of winter wheat by point-injection of N solution. p. 269. In 1987 Agronomy Abstracts, 79th Annual Meeting Amer. Soc. of Agron. November 29-December 4, 1987. Atlanta, GA.
- Janzen, H.H., and C.W. Lindwall. 1988. Nitrogen fertilization of winter wheat. Agriculture Canadá, Research Station, Lethbridge, Alta. Weekly Letter No. 2814. January 20, 1988.
- Janzen, H.H., and C.W. Lindwall. 1988. Optimum application parameters for point injection of nitrogen in winter wheat. Soil Sci. Soc. Am. J. 53: 1878-1883.
- Malhi, S.S., M. Nyborg. 1985. Methods of placement for increasing the efficiency of N fertilizer applied in the fall. Agron. J. 77. 27-32.
- Murphy, L.S. 1984. Recent developments in fluid fertilizer application techniques. ANDA Fluid Fertilizers Seminar, October 25-26, 1984. Sao Paulo, Brazil.

- Murphy, L.S. 1984. Recent developments in fertilizer application techniques in the United States and Canadá. p. 457-566. In E. Welte and I. Szabolcs (eds.) Fight against hunger through improved plant nutrition. 9th World Fertilizer Congress Proceedings, July 11-16, 1984. Budapest, Hungary.
- Murphy, L.S. 1985. Management for efficient utilization. Symposium on nutrient use and the environment. The Fertilizer Institute, October 21-23, 1985 Kansas City, MO.
- Murphy, L.S. and J.D. Beaton. 1988. Advances in fertilizer application: Equipment, timing and placement. p. 26-64 In Proceedings of 25th Anniversary Symposium of Division S-8, Soil Science Society of America. Advances in Fertilizer Technology and Use. November 28, 1988. Anaheim, CA.
- Randall, G. W., K.L. Wells, and J.J. Hanway. 1985. Modern techniques in fertilizer application. p. 521-560. In O.P. Engelstad (ed.) Fertilizer technology and use. 3rd ed. SSA, Madison, WI.
- Randall, G.W., and R.G. Hoelt. 1986. Fertilizer placement methods: New wrinkles on a old face. Crops and Soils 38 (6): 17-22.
- Randall, G. W. and R. G. Hoelt. 1988. Placement methods for improved efficiency of P. and K fertilizers: A review. J. Prod. Agric. 1: 70-78.

## NUEVAS TENDENCIAS EN LAS RELACIONES CALCIO:MAGNESIO

Reciente investigación conducida en los Estados Unidos refuta los conceptos asumidos por mucho tiempo que indican que se debe mantener una relación específica de calcio (Ca) y magnesio (Mg) en el suelo. El Ca y el Mg son cationes intercambiables que son atraídos por los sitios negativos de las arcillas y materia orgánica del suelo y una vez retenidos en estos sitios no se lixivian fácilmente, pero son disponibles para las plantas.

En el pasado, se ha determinado que una óptima relación Ca:Mg debería estar entre 65:10-15. Sin embargo, existen criterios que indican que la relación Ca:Mg tiene poco efecto en el crecimiento de la planta o en el rendimiento y que un criterio más significativo es el considerar la presencia de niveles suficientes de cada nutriente disponibles para la planta. De acuerdo con los profesores K. A. Kelling y E. E. Schulte, del Departamento de Ciencias del Suelo de la Universidad Wisconsin, relaciones específicas Ca:Mg no tienen efecto consistente en los rendimientos de los cultivos, compactación del suelo y población de malezas.

Estos investigadores afirman que el sistema radicular de las plantas absorbe selectivamente el Ca y el Mg y es capaz de asegurar las proporciones requeridas de nutrientes, a pesar de las variaciones de las relaciones en el suelo. El mantener un adecuado pH y un adecuado nivel de Ca y de Mg para el crecimiento de las plantas es esencial para asegurar buenos rendimientos.

Una baja relación Ca:Mg indica un suelo con un bajo contenido de Ca intercambiable y un normal contenido de Mg, o un suelo con un normal contenido de Ca intercambiable y alto Mg. Una relación Ca:Mg alta refleja insuficiencia de Mg en relación al Ca o exceso de Ca en relación al Mg. En ciertas circunstancias podría ser apropiado el ajustar las proporciones relativas de estos dos nutrientes. El óptimo porcentaje de saturación de los sitios de intercambio con un catión dado no es constante y más bien depende de la capacidad de intercambio catiónico y el contenido de minerales del suelo.

Las deficiencias de Mg resultan en el amarillamiento (clorosis) de las hojas de las plantas debido a que el Mg es un componente de la clorofila. Estas deficiencias se observan comúnmente en suelos arenosos de bajos pHs y se pueden corregir económicamente el problema con la aplicación de cal dolomítica. Si el pH del suelo es alto será más apropiado el aplicar otras fuentes como sulfatos por ejemplo.

Si el análisis de suelo indica que es necesario aplicar cal para ajustar el pH, el análisis del contenido de Mg será un buen índice para determinar la fuente de cal necesaria. Se recomienda la aplicación de cal dolomítica en casos donde el análisis de Mg indique contenidos menores a 70 ppm. El exceso de Mg en el suelo puede ser un problema solamente en aquellos suelos derivados de silicatos magnesianos o en suelos con bajo Ca donde el Mg intercambiable es mayor que el Ca intercambiable. En el cinturón maicero de los

Estados Unidos, las deficiencias de Ca son poco comunes en suelos con pHs mayores a 6.0. Cuando se requiere encalar el suelo la aplicación de calcita o dolomita suplementará suficiente Ca para mantener el crecimiento del cultivo.

Los conceptos expresados por los Drs. Kelling y Schulte son el resultado de investigación realizados en suelos de Wisconsin dominados por arcillas de tipo 2:1.

Estos fenómenos han sido también estudiados por investigadores brasileños en suelos tropicales (oxisoles y

ultisoles) de bajo pH y baja CIC donde Ca y Mg son deficientes. El manejar el pH de estos suelos con adiciones de cal no solamente precipita el Al sino que también provee Ca y Mg como nutrientes. En este caso funciona bien el concepto que toma en cuenta un adecuado porcentaje de saturación de bases. En andisoles (suelos derivados de ceniza volcánica) los contenidos de Ca, Mg son generalmente más altos que en oxisoles y ultisoles. En estos suelos los estudios sobre relación Ca:Mg han sido también inconsistentes y es necesaria mayor investigación que dilucide la situación.

## REPORTE DE INVESTIGACION RECIENTE

### USO DEL ANALISIS DE ESTABILIDAD EN LOS EXPERIMENTOS DE FERTILIDAD DE SUELO A LARGO PLAZO

*Raun, W.R., H.J. Barreto, and R.L. Westerman. 1993. Use of stability analysis for long-term soil fertility experiments. Agron. J. 85:159-167.*

Los experimentos de fertilidad a largo plazo con repeticiones son a menudo analizados estadísticamente como parcelas divididas en el tiempo. Regularmente se demuestra que los años son significativamente diferentes y la inconsistencia de los efectos de los tratamientos a través de los años entra en las interacciones significativas de año por tratamiento que a menudo son difíciles de interpretar. Los objetivos de este estudio fueron los de evaluar experimentos de fertilidad a largo plazo con el análisis de estabilidad y relativa estabilidad y observar los posibles beneficios de estos análisis para complementar los procedimientos convencionales de análisis de la varianza. El análisis de estabilidad, que es una regresión lineal entre el rendimiento del tratamiento en el sitio y la media del rendimiento del año ambiente se calculó en experimentos de fertilidad a largo plazo de trigo (*Triticum aestivum*) y maíz (*Zea mays* L.). Los análisis de estabilidad en los datos de las parcelas de trigo, indicaron que las aplicaciones de abono de residuo de corral ( $269 \text{ kg N ha}^{-1}$ ) respondieron pobremente comparado con el tratamiento N P K cuando las medias ambientales fueron bajas ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) y viceversa cuando las medias del ambiente fueron altas ( $2 \text{ Mg ha}^{-1}$ ). En forma similar, se encontró que las aplicaciones de amoníaco anhidro en banda en un experimento de maíz con riego fueron superiores a las aplicaciones de urea-nitrato de amonio aplicado antes de la siembra o en banda después de la siembra, cuando las medias del ambiente fueron menores que  $8.0 \text{ Mg ha}^{-1}$ .

Los análisis de estabilidad proveyeron de un simple método para interpretar la significancia de las interacciones año por tratamiento detectadas por los modelos de la varianza en estos experimentos a largo plazo. El análisis de estabilidad puede también ser útil para experimentos localizados en varios sitios o para experimentos continuos en el mismo sitio donde los tratamientos se aplican a la misma parcela año tras año. Sin embargo, el análisis de estabilidad puede ser engañoso cuando se emplea en experimentos continuos en el mismo sitio cuando las auto correlaciones están presentes año tras año.

### EFFECTO DEL TIPO DE SUELO Y EL REGIMEN DE HUMEDAD EN LOS METODOS DE CALCULO DE LA EFICIENCIA DE FERTILIZANTES CON NITROGENO-15 COMO TRAZADOR

*Torbert, H.A., R.L. Mulvaney, R.M. Vanden Heuvel, and R.G. Hoefl. 1992. Soil Type and Moisture Regime Effects on Fertilizer Efficiency Calculation Methods in a Nitrogen/15 Tracer Study. Agron. J. 84: 66-70.*

Se condujeron experimentos para determinar el efecto del método de cálculo de la estimación de la eficiencia del fertilizante nitrogenado usando  $^{15}\text{N}$  como trazador. Se cultivó maíz (*Zea mays* L.) en tres localidades de contrastantes tipos de suelos en el estado de Illinois. Se establecieron tres regímenes de humedad (ambiente, ambiente + 100 mm de exceso de agua y ambiente + 150 mm de exceso de agua) para obtener diferentes eficiencias de fertilizante nitrogenado en cada suelo. Se aplicó  $\text{KNO}_3$  enriquecido con  $^{15}\text{N}$  ( $168 \text{ kg N/ha}$ ) a un suelo Drummer franco arcillo limoso (fine-silty, mixed, mesic Typic Haplaquoll) localizado en DeKalb, un Cisne franco

limoso (fine, montmorillonitic, mesic Mollic Albaqualf) localizado en Brownstown y a un Plainfield arenoso (mixed, mesic Typic Udipsamment) localizado en Havana. Se cálculo la eficiencia del fertilizante nitrogenado de la diferencia entre plantas fertilizadas versus plantas no fertilizadas, de la cantidad de  $^{15}\text{N}$  recuperada por la planta y de la cantidad  $^{15}\text{N}$  recuperada del suelo y de la planta. En los suelos Drummer y Cisne los tres procedimientos de cálculo dieron diferente porcentaje de eficiencia de nitrógeno cuando se promediaron a través de los tratamientos de humedad y diferentes tendencias dentro de los tratamientos de humedad. En el suelo Plainfield los valores del porcentaje de eficiencia del fertilizante nitrogenado fueron menores que aquellos obtenidos en los suelos Drummer y Cisne pero los métodos de cálculo tuvieron poco efecto en los resultados. Los resultados obtenidos indican para la mayoría de los suelos que, la evaluación de la eficiencia del fertilizante nitrogenado varía con el método con el cual se hace el cálculo. El presente estudio demuestra la necesidad de estandarizar la terminología que ayude a identificar los parámetros usados para definir eficiencia de fertilizantes.

#### SISTEMA INTEGRADO DE COLECCION DE DATOS Y LIBRO DE CAMPO PARA AGRONOMOS UTILIZANDO COMPUTADORAS

*Berke, T.G., and P.S. Baenziger. 1992. Portable and Desktop Computer Integrated Field Book and Data Collection System for Agronomists. Agron. J. 84: 119-121.*

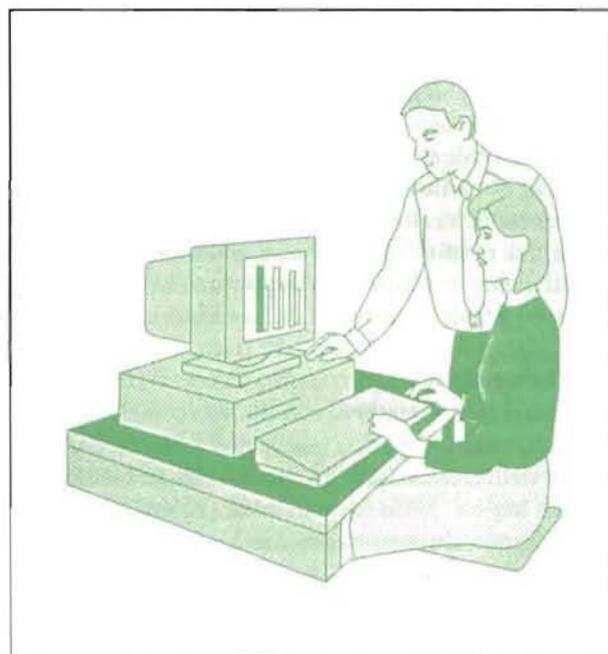
Se ha desarrollado un sistema computarizado integrado para facilitar la colección y almacenamiento de datos que utiliza software comercial y software manejado por medio de menús. Este sistema tiene dos partes: la primera parte utiliza una micro computadora portátil para coleccionar los datos en el campo o el laboratorio. Esta micro computadora puede ser conectada a una balanza electrónica para facilitar la entrada de datos por peso. Se puede también almacenar los datos, cuando situaciones de experimentos localizados en sitios remotos previenen la inmediata transferencia de datos. La segunda parte utiliza una micro computadora con disco duro para generar arreglos de tratamientos en diseños de bloques completos al azar con una a seis repeticiones, crear y manipular archivos de datos almacenados, imprimir libros de campo e imprimir etiquetas adhesivas. Los archivos de datos de la micro computadora portátil pueden ser importados a una hoja de cálculo para análisis estadístico simple (medias, varianzas, rangos, etc.) o transferidos como un archivo ASCII a un programa estadístico más sofisticado.

Este sistema permite el control de los datos coleccionados de un experimento en un sistema integrado de computadora. Se evitan los errores de transcripción y los datos están inmediatamente disponibles para el análisis. El software desarrollado para este sistema se encuentra disponible bajo pedido.

#### EL REGRESO DE LA "LEY DEL MINIMO" DE VON LIEBIG

*Paris Q. 1992. The Return of von Liebig's "Law of the Minimum". Agron. J. 84:1040-1046.*

El Desarrollo de recomendaciones de fertilización óptimas requiere de un renovado esfuerzo entre agrónomos y economistas agrícolas. El objetivo de este estudio es el de enfatizar la dirección de este esfuerzo interdisciplinario en el área del análisis de la respuesta de los cultivos. Se demostró, usando la información de la respuesta a la fertilización con N y P en maíz (*Zea mays* L) y algodón (*Gossypium hirsutum*) de dos diferentes experimentos, que el modelo mejor de respuesta es el de von Liebig, más comúnmente conocido como la Ley del Mínimo. Cuando se hace la selección de una especificación estadística entre modelos que no comparten el mismo espacio de parámetros, no se puede probar la hipótesis por medio de la prueba de F. La selección de las especificaciones de von Liebig (escogida de entre los modelos de la raíz cuadrada polinomial y Mitscherlich-Baule) es entonces hecha en base a un riguroso análisis estadístico.



## CURSOS Y SIMPOSIOS

### 1. MARKETING OF FERTILIZERS AND OTHER AGRI-INPUTS

ORGANIZA : IFDC International Fertilizer Development Center  
LUGAR : Muscle Shoals, Alabama  
FECHA : Agosto 2-Septiembre 3 de 1993  
INFORMACION : International Fertilizer Development Center  
P.O.Box 2040  
Muscle Shoals, Alabama 35662  
EUA.  
Telf.: 205 381 6600  
Fax.: 205 381 7408

### 2. PLANT NUTRIENT MANAGEMENT FOR SUSTAINABLE AGRICULTURE

ORGANIZA : IFDC International Fertilizer Development Center  
LUGAR : Muscle Shoals, Alabama  
FECHA : Septiembre 20-Octubre 1  
INFORMACION : International Fertilizer Development Center  
P.O.Box 2040  
Muscle Shoals, Alabama 35662  
EUA.  
Telf.: 205 381 6600  
Fax.: 205 381 7408

### 3. FERTILIDAD DE SUELOS - Diagnóstico y Control

ORGANIZA : Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo  
LUGAR : Santafé de Bogotá, Colombia  
FECHA : Septiembre 1-3, 1993  
INFORMACION : Dr. Francisco Silva Mojica  
Secretario de la S.C.C.S  
Carrera 11 No. 66-34 Of. 204  
A. A. 51791  
Santafé de Bogotá - Colombia  
Telf.: 571 2113383  
Fax.: 571 2188035

### 4. FERTILIZER MARKETING TRAINING PROGRAM

ORGANIZA : IFDC International Fertilizer Development Center  
LUGAR : Bangkok, Thailand  
FECHA : December 6-17  
INFORMACION : International Fertilizer Development Center  
P.O.Box 2040  
Muscle Shoals, Alabama 35662  
EUA.  
Telf.: 205 381 6600  
Fax.: 205 381 7408

### 5. THIRD INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON PLANT-SOIL INTERACTIONS AT LOW pH

ORGANIZA : Soil Science Society of Australia  
LUGAR : Brisbane, Queensland, Australia  
FECHA : Septiembre 12-16 de 1993  
INFORMACION : Dr. R.J. Haynes  
Canterbury Agriculture and Science Center  
P.O. Box 24,  
Lincoln, New Zealand  
Telf.: 64 3 325 3011  
Fax.: 64 3 325 2964

### 6. 15th INTERNATIONAL CONGRESS OF SOIL SCIENCE

ORGANIZA : Sociedad Internacional de la Ciencia del Suelo.  
LUGAR : Acapulco-México  
FECHA : Julio 10-16 de 1994  
INFORMACION : Centro de Edafología  
Colegio de Posgraduados  
P.O. Box 45  
56230 Chapingo, México  
Telf.: 595 45 7 23  
Fax.: 595 4 57 01

## PUBLICACIONES DE INPOFOS

Las siguientes publicaciones de INPOFOS se encuentran disponibles con un costo nominal

COSTO US \$

- \* **Manual de Fertilidad de Suelos.** Publicación didáctica sobre uso y manejo de suelos y fertilizantes. \$ 10.00
- \* **POTASA: Su Necesidad y Uso en Agricultura Moderna.** Esta publicación cubre aspectos como funciones de potasio en las plantas, necesidad, síntomas de deficiencia y el eficiente uso de fertilizantes potásicos. \$ 2.00
- \* **Fertilización del Banano para Rendimientos Altos.** En esta publicación se discuten en amplitud los requerimientos nutricionales, ciclaje de nutrientes, análisis foliar y de suelos y fertilización del cultivo del banano. \$ 3.00
- \* **Fertilización del Algodón para Rendimientos Altos.** Publicación que cubre en forma detallada los requerimientos nutricionales, análisis foliar y de suelos y fertilización del cultivo del algodón. \$ 3.00
- \* **CAFETO: Cultivo y Fertilización.** Esta publicación discute ampliamente el origen, distribución y prácticas culturales, cobertura del suelo, enfermedades y plagas y fertilización científica del Cafeto. \$ 8.00
- \* **Diagnóstico Nutricional de los Cultivos.** Publicación que cubre en forma completa, pero razonablemente simple, todos los factores que permiten diagnosticar los problemas nutricionales, para evitar que éstos sean limitantes en la producción de cultivos. \$ 3.00
- \* **Conozca y Resuelva los Problemas del Maíz.** Plegable que describe los síntomas de deficiencia de nutrientes y otros síntomas relacionados con la nutrición del maíz, como guía para la obtención de rendimientos altos. \$ 0.50



INPOFOS-INSTITUTO DE LA POTASA Y EL FOSFORO  
Av. de los Shymis 2260 y el Telégrafo  
Casilla Postal 17-17-980  
QUITO ECUADOR

**IMPRESOS**

CORREO AEREO



**BY AIR MAIL**