



INVESTIGACION
INPOFOS
EDUCACION

INSTITUTO DE LA POTASA Y EL FOSFORO
POTASH & PHOSPHATE INSTITUTE
POTASH & PHOSPHATE INSTITUTE OF CANADA

IMPORTANCIA DE LA NUTRICION TEMPRANA CON FOSFORO

C. A. Grant, D. N. Flaten, D. J. Tomaszewicz y S. C. Sheppard*

Introducción

El fósforo (P) es crítico en el metabolismo de las plantas, desempeñando un papel importante en la transferencia de energía, respiración y fotosíntesis. Es también un componente estructural de los ácidos nucleicos de los genes y cromosomas, así como de muchas coenzimas, fosfoproteínas y fosfolípidos. Limitaciones en la disponibilidad de P, temprano en el ciclo del cultivo, pueden resultar en restricciones de crecimiento de las cuales la planta nunca se recupera, aun cuando después se incrementa el suplemento de P a niveles adecuados. Un apropiado suplemento de P es esencial desde los estadios iniciales de crecimiento de la planta.

Un cultivo en crecimiento puede presentar diferentes condiciones en términos de nutrición mineral, teniendo en cuenta el balance entre el suplemento externo y la demanda de nutrientes de la planta. Inicialmente, la planta vive de las reservas en la semilla y el suplemento externo tiene poco efecto en el crecimiento. Una segunda etapa ocurre cuando la tasa de crecimiento está determinada por el suplemento de nutrientes a través de un dinámico balance entre los factores internos de la planta y el suplemento externo (suelo). En una etapa final, la tasa de crecimiento relativo puede declinar por razones más allá de la inadecuada nutrición. En este punto, la tasa de crecimiento de plantas deficientes y no deficientes puede ser el mismo ya que el factor que más limita el crecimiento no es el suplemento de nutrientes.

El período de tiempo para que la deficiencia de P muestre un efecto en los procesos de la planta depende de las reservas de P. En los tejidos de la mayoría de plantas superiores, la mayor cantidad de P se encuentra en forma inorgánica. La concentración del P inorgánico almacenado tiende a variar ampliamente dependiendo de la disponibilidad externa, mientras que la concentración de P orgánico activo tiende a ser más estable. Solo una pequeña cantidad de P presente en la planta está envuelta activamente en el metabolismo. Si el suplemento de P es adecuado, la mayoría de P inorgánico no interviene en el metabolismo y es almacenado dentro de la vacuola como ortofosfato. Bajo condiciones de estrés de P, las reservas inorgánicas se agotan, mientras que los niveles metabólicos permanecen prácticamente inafectados. Por esta razón, las altas concentraciones de P almacenadas en las semillas o las provenientes de absorción de lujo en los

JULIO 2001

No. 44

Contenido

	Pág.
Importancia de la nutrición temprana con fósforo	1
Fertilizantes y el ambiente	6
Diagnóstico de los requerimientos de fertilización de cultivos extensivos	8
Reporte de investigación reciente	14
Cursos y Simposios	15
Publicaciones de INPOFOS	16
Editor: Dr. José Espinosa	

* Tomado de: Grant, C. A., D. N. Flaten, D. J. Tomaszewicz and S. C. Sheppard. 2001. Importance of early season phosphorus nutrition. *Better Crops* 2: 3-5.

Se permite copiar, citar o reimprimir los artículos de este boletín siempre y cuando no se altere el contenido y se cite la fuente y el autor.



Foto 1. Respuesta en el crecimiento inicial del trigo a la aplicación de P a la siembra (derecha) comparado con el crecimiento de la planta sin aplicación de P (izquierda).

estadios tempranos de crecimiento del cultivo, forman las reservas de P disponible que pueden satisfacer las necesidades de P que aparecen por las fluctuaciones de suplemento más tarde en el ciclo de la planta.

Efecto de la deficiencia de P en el desarrollo de la planta

El estrés moderado de P puede no producir síntomas obvios de deficiencia. Sin embargo, con una deficiencia más severa, las plantas toman un color que va de verde oscuro a púrpura. La deficiencia de P puede reducir tanto la respiración como la fotosíntesis, pero si la respiración se reduce más que la fotosíntesis los carbohidratos se acumulan produciendo un color verde oscuro de las hojas. Una deficiencia puede también reducir la síntesis de proteína y ácidos nucleicos, lo que produce una acumulación de nitrógeno (N) soluble. Finalmente, el crecimiento de la célula se reduce y potencialmente se detiene. Como resultado, los síntomas de deficiencia de P incluyen condiciones como la reducción en la altura de la planta, retardo en la emergencia de las hojas y reducción del desarrollo de las raíces secundarias, del número de macollos, del rendimiento de materia seca y de la producción de semillas (Foto 1).

Las plantas responden a la deficiencia de P con adaptaciones que le permitan maximizar la probabilidad de producir algo de semilla viable. Generalmente, el estrés de P reduce más el número total que el tamaño de las semillas. Por ejemplo, en cereales, la reducción del número de semillas ocurre a través de la reducción del número de espigas fértiles y del número de granos por espiga (Figura 1). La reducción

en el número de semillas formadas incrementa el suplemento de P por semilla y mejora la posibilidad de producir semilla viable para una reproducción exitosa.

Suplemento de P en los estadios iniciales de crecimiento de la planta

Un gran número de estudios, en muchas especies de plantas, ha demostrado que el suplemento de P en la parte inicial de la vida de la planta es crítico para el óptimo rendimiento del cultivo. La falta de P al inicio del crecimiento del cultivo restringe el crecimiento de la planta, condición de la cual la planta no se recupera. Esto limita seriamente la producción. Las limitaciones de P más tarde en el ciclo tienen mucho menor impacto en la producción.

Investigación conducida con trigo, en solución nutritiva, demostró que la máxima producción de macollos se obtiene cuando se añade P a la solución durante las primeras cuatro semanas de crecimiento (Tabla 1). Cuando no se añadió P durante las cuatro semanas iniciales o más, la producción de macollos fue inferior a la normal. El desarrollo de las raíces secundarias siguió el mismo comportamiento. La planta requiere P disponible temprano en el crecimiento para lograr un óptimo crecimiento de las raíces. En este experimento, el rendimiento final de materia seca del trigo se redujo cuando las plantas crecieron en una solución deficiente en P durante diferentes porciones de las primeras cinco semanas de crecimiento (Tabla 2). El suplemento de P solamente durante las primeras tres y cuatro semanas de crecimiento produjo también una reducción en los rendimientos de materia seca. Más

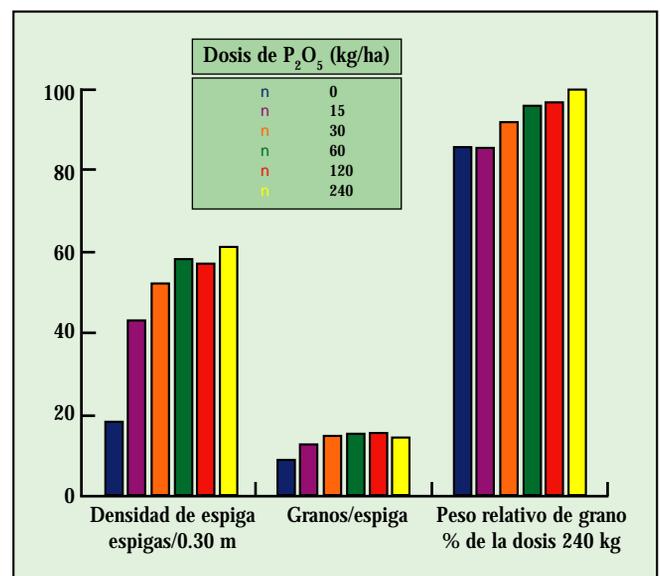


Figura 1. Efecto de la aplicación de dosis de P en el promedio de la densidad de la espiga, número de granos por espiga y peso relativo del grano de cebada (cv. Schooner), Australia en 1986 (adaptado de Hoppe et al., 1999).

Tabla 1. Efecto de la ausencia de P durante varios intervalos del crecimiento en el promedio del desarrollo de macollos y raíces secundarias de trigo. (adaptado de Boatwright y Viets, 1966).

Semanas sin P en un período de 10 semanas de crecimiento	Macollos / 6 plantas a la semana 10	Raíces secundarias/6 plantas a la semana 10
Testigo sin P	27.7	120.0
Primeras 2 semanas	22.3	76.2
Últimas 2 semanas	23.0	123.6
Primeras 4 semanas	10.3	21.6
Últimas 4 semanas	24.0	106.2
Primeras 6 semanas	9.4	19.8
Últimas 6 semanas	24.0	66.0

aun, la falta de P por las primeras dos y tres semanas produjo los rendimientos más bajos de materia seca. Aun cuando el cultivo absorbió solamente cantidades pequeñas de P durante las dos primeras semanas de crecimiento (15% del máximo), esta acumulación temprana de P es extremadamente importante para la máxima acumulación de materia seca y en consecuencia para la más alta producción de grano a la madurez.

Se han propuesto varias razones para explicar la necesidad crítica de P al inicio del cultivo para asegurar el posterior crecimiento y desarrollo de la planta. Sin embargo, el efecto más probable es un proceso que lleva a la planta a una condición irreversible que afecta el crecimiento posterior, aun cuando la planta reciba más tarde un adecuado suplemento de nutrientes. El mecanismo que afecta el crecimiento, como respuesta a la deficiencia de P en los inicios del crecimiento, puede estar relacionado con restricciones en el uso de carbono (C) por la planta. En maíz, la deficiencia de P reduce la tasa de apareamiento de las hojas y el tamaño de las hojas, particularmente en las hojas bajas (como consecuencia de un pobre sistema radicular). El efecto sobre la captación de C de esta reducción en el crecimiento de las hojas y en la consecuente reducción de la intercepción de la luz solar, puede reducir la

Tabla 2. Influencia del suplemento de P en la solución nutritiva en la acumulación de materia seca de trigo. Resultados presentados como un porcentaje del testigo (1-5 semanas). Adaptado de Boatwright y Viets, 1966.

Período de suplemento de P en diferentes semanas de crecimiento	Materia seca de trigo como porcentaje del testigo
1-5*	100
1-4	80
1-3	50
3-5	80
4-5	30

* Testigo

subsecuente emergencia de las raíces nodales, lo cual tendrá un impacto adicional en la absorción de P por la planta.

La respuesta en rendimiento del maíz a la aplicación de P a la siembra está relacionada con la concentración foliar de P al estado de cuatro a cinco hojas, o posiblemente más

temprano. Se ha sugerido que la condición que relaciona la aplicación de P a la siembra con el número de granos podría ser el efecto del P en el tamaño temprano de la mazorca. Una deficiencia de P durante la formación de la mazorca, que ocurre entre la sexta y séptima hoja, puede reducir el tamaño de la mazorca, llevando a un menor número de granos por mazorca. Un mecanismo similar puede ocurrir en otras especies. Se conoce que con deficiencia de P se produce una reducción en el número de semillas en una variedad de cultivos.

Diferencias entre plantas en las estrategias de absorción y eficiencia de la utilización de P

La importancia del P para la sobrevivencia ha promovido el desarrollo de mecanismos de adaptación para mejorar el acceso de la planta a las fuentes de suplemento de P. La concentración de P en la solución del suelo es generalmente baja, debido a que los ortofosfatos son rápidamente adsorbidos en la superficies de los coloides del suelo o son precipitados como fosfatos de calcio (Ca), magnesio (Mg), hierro (Fe) y aluminio (Al). La mayor parte del P en el suelo se mueve hacia la planta por difusión antes que por flujo de masa. Sin embargo, el movimiento del P por difusión hacia las raíces es muy restringido, limitando la absorción de P por la planta. Se ha estimado que el P se mueve por difusión, en promedio, de 1-2 mm, de esta forma, solamente el P que se encuentre a esta distancia de las raíces está posicionalmente disponible para ser absorbido.

La absorción de P por las plantas es proporcional a la densidad de las raíces, por esta razón, el incremento del área superficial de la masa radicular incrementa la habilidad de la planta para adquirir P del suelo. En consecuencia, algunas plantas responden a las bajas concentraciones de P en el suelo promoviendo el crecimiento del reducido sistema radicular y desarrollando abundantes raíces laterales que mejoran la habilidad de la planta explorar el suelo en búsqueda

de P. Muchas plantas forman asociaciones con las micorrizas lo que incrementa la habilidad de la planta para adquirir P.

Se ha observado que la relación raíz-parte aérea de la planta se incrementa cuando existe deficiencia de P temprano en el desarrollo de la planta. Esto significa que la reducción en crecimiento, por efecto de la deficiencia de P, es generalmente mayor en la parte aérea de la planta que en las raíces, permitiendo de esta forma mantener por lo menos algo de crecimiento radicular para encontrar y extraer P del suelo. El crecimiento de las raíces y de la parte aérea se parece bastante a la distribución del P entre las diferentes partes de la planta. Cuando el suplemento de P es bajo, la proporción de P retenido en las raíces es más alta que cuando el suplemento de P es moderado. A contenidos altos de P, existe también un incremento relativo del P en las raíces en comparación con el P acumulado en la parte aérea. Esto implicaría que existe retención de P en las raíces para satisfacer sus requerimientos cuando el contenido de P es bajo, para satisfacer las demandas de exportación hacia la parte aérea cuando las concentraciones son suficientes y para retener P en las raíces cuando la concentración es alta para evitar acumulaciones innecesarias en la parte aérea.

Existen otras respuestas de las plantas a condiciones de bajo suplemento de P que pueden incrementar la acumulación del nutriente en la planta. Algunas plantas liberan fosfatasas al medio de crecimiento para romper las moléculas de fosfatos orgánicos, incrementando de esta forma el suplemento de P disponible. Plantas como la canola pueden acidificar la rizosfera por medio de la secreción de ácidos orgánicos para incrementar la disponibilidad de P. Algunas plantas pueden responder a la deficiencia de P incrementando su habilidad de acumular P. En maíz, una reducción en el nivel de P en la planta parece que es la señal para que las raíces absorban P rápidamente. Las plantas que han pasado por condiciones de estrés de P presentan un gran incremento en la tasa de absorción de P cuando se ponen en contacto con este nutriente en comparación con aquellas plantas que no han experimentado estrés de P.

Estudios en soluciones nutritivas han demostrado que las plantas deficientes en P pueden perder la habilidad de regular la absorción de P, condición que puede llevar a una absorción indiscriminada cuando se restablece el suplemento de P a la solución. Se concluye que las plantas normales tienen un mecanismo de regulación que limita la excesiva absorción y acumulación de P, situación que no ocurre en las plantas deficientes en P. Por esta razón, las plantas deficientes en P pueden acumular cantidades excesivas de P cuando se exponen

repentinamente a concentraciones altas de P en la solución. Sin embargo, esta condición no se produce cuando las plantas reciben un suministro continuo de P.

Concentración de P en la semilla

Un incremento de la concentración de P en la semilla puede usarse como mecanismo para mejorar el suplemento temprano de P e incrementar el subsecuente crecimiento de la planta. Muchas plantas pueden subsistir del P contenido en las semillas por alrededor de dos semanas. Estudios conducidos en invernadero, demostraron que plantas de trigo provenientes de semillas del mismo tamaño, pero con incrementos en la concentración de P (0.14 a 0.37%), produjeron rendimientos de materia seca más altos cuando mayor era el contenido de P, hasta 35 días después de la siembra. En el campo el efecto persistió hasta los 67 días. De igual manera, estudios con cebada provenientes de semilla que variaban hasta en 40% de concentración de P, demostraron que las plántulas provenientes de semillas con alta concentración de P emergieron más rápidamente, que tenían un mayor crecimiento inicial, mayor número de hojas y mayor área foliar. El incremento de la concentración de P en la semilla incrementó la longitud de las raíces, pero el efecto fue mayor en el crecimiento de la parte aérea de la planta. El incremento del peso de las semillas tuvo un efecto similar al efecto del incremento de la concentración de P en la semilla, sin embargo, se encontró que el efecto de peso y concentración de P en la semilla eran aditivos. Estos datos sugieren que la utilización de semilla de buen tamaño y alta concentración de P es un buen aporte para promover el crecimiento inicial de la planta. Esta semilla proviene de plantas con adecuada nutrición durante todo el ciclo del cultivo.

Manejo de la nutrición con P

Si el suplemento de P del suelo y el de las reservas de la semilla es inadecuado para mantener un rendimiento óptimo del cultivo, las aplicaciones de fertilizantes fosfatados pueden suplementar este nutriente a la planta. El suplemento de P durante las primeras dos a seis semanas de crecimiento tiene un gran impacto en el rendimiento final de la mayoría de los cultivos. Por esta razón, es importante que las aplicaciones de P se manejen de forma que aseguren el suplemento temprano del nutriente a las plantas.

La absorción relativa del P proveniente del suelo y del P proveniente del fertilizante puede diferir dependiendo del tipo y del estado de crecimiento del cultivo. Resultados de investigación con trigo han demostrado que la tasa de absorción de P proveniente del suelo se incrementa al inicio del periodo comprendido entre las

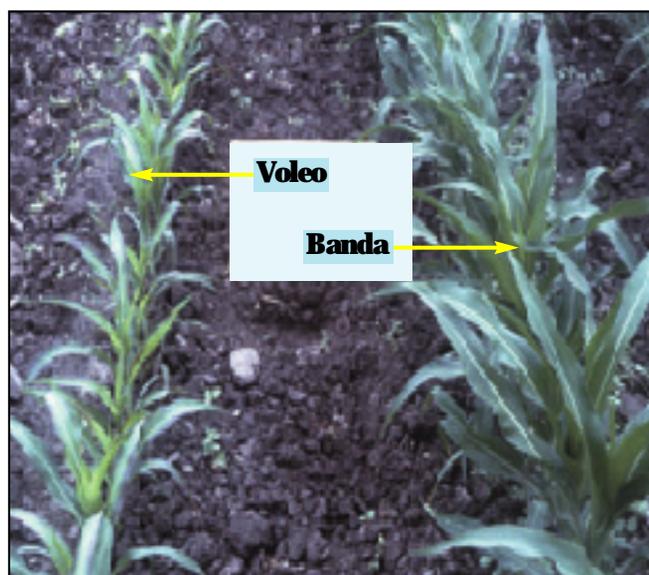


Foto 2. Efecto de la aplicación de P en banda y al voleo en el crecimiento inicial de maíz.

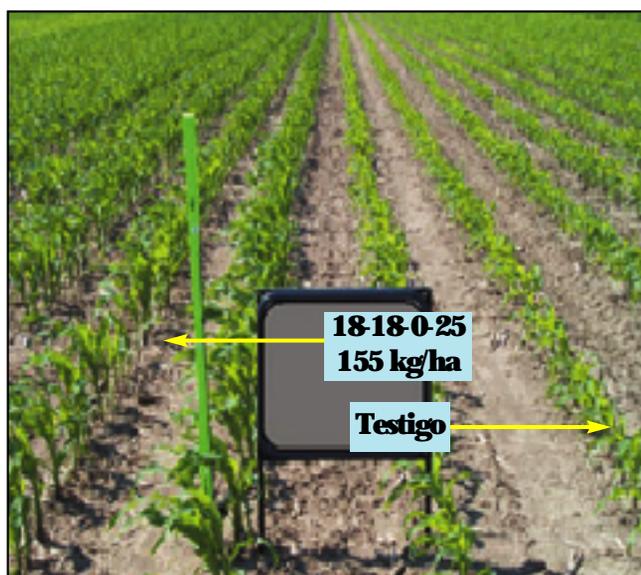


Foto 3. Efecto de la aplicación de arranque con P en un lote de maíz con contenidos relativamente altos del nutriente.

Tabla 3. Absorción acumulativa del P proveniente del fertilizante y del P proveniente del suelo por trigo en varios estados de crecimiento y con dos diferentes fertilizantes (Mitchell, 1957).

Fuente de P	4 semanas		7 semanas		9 semanas		13 semanas		Rend. grano g/maceta
	Total	Fertil.	Total	Fertil.	Total	Fertil.	Total	Fertil.	
	----- mg de P -----								
Fosfato monoamónico ¹	27.0	12.5	177.0	75.5	195.0	77.0	281.0	101.0	78.0
Fosfato dicálcico + nitrato de Ca	19.7	1.9	126.0	15.1	182.0	19.0	241.0	22.0	63.3
Testigo	18.8	-	95.0	-	146.0	-	188.0	-	49.0

1 Dosis de aplicación de P = 25 de P₂O₅ kg/ha

cuatro y seis semanas de crecimiento, y a medida que se expande el volumen de las raíces se incrementa la proporción de P en la planta que proviene del suelo antes que del fertilizante aplicado (Tabla 3). Esto explica la respuesta a las aplicaciones de arranque de P (a la siembra), aun cuando el contenido de P en el suelo sea relativamente alto. La cantidad total de P y la cantidad de P proveniente del fertilizante absorbidas por las plantas se incrementan con el incremento en las dosis de P aplicadas.

El P es relativamente inmóvil en el suelo y permanece en las inmediaciones del sitio donde se colocó el fertilizante. Los fosfatos procedentes del fertilizante reaccionan con el Ca y Mg en suelos de alto pH para formar compuestos de baja solubilidad. Estos compuestos son menos disponibles para la planta. En suelos ácidos ocurren reacciones similares con el Fe y Al. La localización del P en banda reduce el contacto del suelo con el nutriente y resulta en menor fijación que las aplicaciones al voleo (Foto 2).

La mejor forma de aplicar P a suelos deficientes con alta capacidad de fijación, para suplir las necesidades del nutriente en las fases iniciales del cultivo, es aplicar el fertilizante fosfatado a la siembra colocándolo al lado y debajo de la semilla (aplicaciones de arranque). Este efecto es también visible en suelos con relativo alto contenido de P (por ejemplo suelos con una historia de fertilización con P) donde la aplicación en banda profunda del P con el N produce excelentes resultados como se observa en la Foto 3.

Bibliografía

- Boatwright, G.O. and F.G. Viets Jr. 1966. Phosphorus absorption during various growth stages of spring wheat and intermediate wheatgrass. *Agron. J.* 58: 185-188.
- Hoppo, S.D., D.E. Elliot, and D.J. Reuter. 1999. Plant tests for diagnosing phosphorus deficiency in barley (*Hordeum vulgare* L.). *Aust. J. Exp. Agric.* 39: 857-872.
- Mitchell, J. 1957. A review of tracer studies in Saskatchewan on the utilization of phosphates by grain crops. *J. Soil Sci.* 8: 73-85.-

FERTILIZANTES Y EL AMBIENTE

W. M. Steward*

La cantidad de tierra per cápita para producción agrícola ha declinado dramáticamente en todo el mundo durante las últimas décadas, y se espera que continúe reduciéndose. Por ejemplo, se estima que para el año 2025 la tierra per cápita en producción será 56% menos que la de 1965. Por otro lado, se espera que la población mundial en 25 años sea de alrededor de 8 billones, 2 billones más que la población actual. Esta tendencia de crecimiento requiere que los rendimientos de los cultivos por unidad de tierra continúen incrementándose. Estos incrementos en rendimiento requerirán a la vez un mayor uso de nutrientes. Es también razonable pensar que, debido a la influencia del público en la producción agrícola, se incrementará el escrutinio del impacto de la agricultura sobre el ambiente.

Una pregunta salta a la vista: es sostenible, desde el punto de vista ambiental, la producción de altos rendimientos, con sus necesarios insumos?. Un grupo de voces claman que cualquier insumo sintético eventualmente podría dañar, sino destruir, el ambiente. Otros aseguran que la producción agrícola de altos rendimientos y la buena calidad del ambiente no son necesariamente excluyentes. No hay que equivocarse esta última aseveración ya que el mal uso de los nutrientes puede por cierto tener efectos detrimentales. Por ejemplo, la aplicación excesiva e inapropiada de residuos de corral, residuos de cría de aves o fertilizantes comerciales pueden contribuir a la eutrofización de los cuerpos de agua. Sin embargo, el manejo apropiado y balanceado de la fertilidad del suelo rara vez provoca problemas ambientales y de hecho, se logran efectos muy positivos de la nutrición completa y balanceada de los cultivos.

Tabla 1. Eficiencia de uso de nitrógeno por maíz con y sin aplicación de fósforo (Kansas).

Dosis de N	Efic. del uso de N kg de maíz/kg de N		Incremento debido al P
	kg/ha	45 kg P ₂ O ₅ /ha	
		Sin P	%
50	184	134	37
100	112	78	40
150	84	61	41
200	67	45	42
250	50	34	43
Promedio	99	70	41

La fertilización balanceada incrementa la eficiencia del uso de nutrientes y por esta razón existe menor probabilidad de que los nutrientes se pierdan al ambiente por lixiviación o escorrentía superficial. Este hecho se ha demostrado en diversos estudios en todo el mundo, uno de ellos conducido en Kansas con maíz bajo riego. Este sitio de investigación, establecido en 1961, ha estado bajo cultivo continuo de maíz por largo tiempo. Las parcelas fueron tratadas con 6 dosis de nitrógeno (N) que iban de 0 a 250 kg de N/ha y 2 dosis de fósforo (P), 0 y 45 kg P₂O₅/ha. Se demostró que la fertilización con P incrementó substancialmente la eficiencia del uso de N durante los primeros 30 años de este estudio (Tabla 1).

Al evaluar el rendimiento máximo, con y sin aplicación de P, se encontró que el P incrementó la demanda de N en alrededor de 11 kg N/ha, mientras que el rendimiento de grano se incrementó en alrededor de 3000 kg. Esto indica que la aplicación de P permite que la planta utilice el N disponible más eficientemente, evitando la utilización de más fertilizante nitrogenado para obtener el mismo rendimiento. El P incrementó la eficiencia de uso de N en la dosis óptima económica de N (200 kg/ha) en 42%. Cuando se promedió el efecto de todas las dosis de N, se observó que la eficiencia del N se incrementó en 41% cuando se aplicó P. Consecuentemente, existe menos nitrato (NO₃) residual en el suelo donde se aplicó fertilizante fosfatado

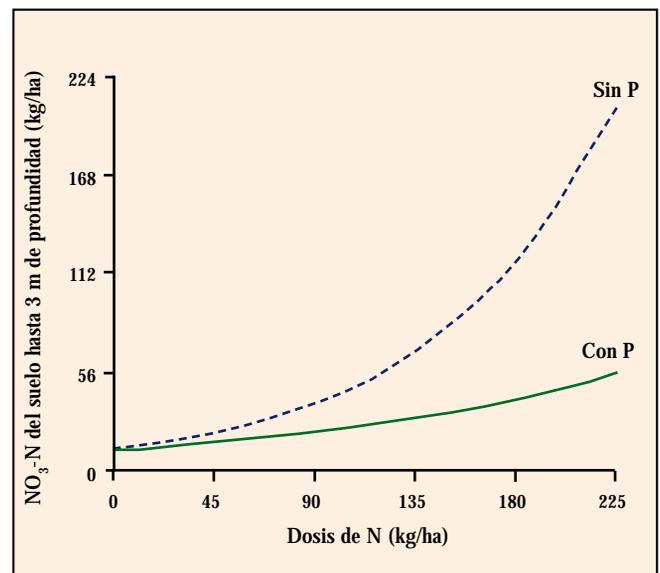


Figura 1. Efecto de la fertilización con nitrógeno y fósforo en el nitrato residual en los 3 metros superiores del perfil del suelo después de 30 años de producción de maíz bajo riego en Kansas.

* El Dr. Mike Steward es Director de la oficina regional Great Plains del Instituto de la Potasa y el Fósforo (Potash and Phosphate Institute). P. O. Box 6827. Lubbock, TX 79493. USA.

(Figura 1), reduciendo apreciablemente la posibilidad de que el N aplicado al suelo entre al agua freática o cuerpos de agua superficiales.

La fertilización balanceada también afecta positivamente la eficiencia del uso del agua, ya que se pueden obtener mayores rendimientos con la misma cantidad de agua. Un cultivo bien nutrido produce un sistema radicular extenso y saludable que es capaz de extraer agua y nutrientes más eficientemente que un cultivo deficiente en nutrientes. El efecto de la fertilización en el uso eficiente del agua a sido demostrado en numerosos estudios. Por ejemplo, un estudio reciente conducido en el sur oeste de Texas con ryegrass demostró que la aplicación de solamente N incrementó el uso eficiente del agua en 90%. Cuando se balanceó la fertilización con N y P la eficiencia del uso del agua se incrementó a más de 200%. Esta investigación se condujo en un área donde existe una creciente competencia entre las ciudades grandes y la agricultura por el uso de las limitadas reservas de agua subterránea. Son obvios entonces los beneficios para la población urbana y para los productores agrícolas.

El calentamiento global es otro factor ambiental que puede ser influenciado positivamente con la fertilización. Los suelos agrícolas pueden actuar como un significativo sumidero de carbono (C). El incremento de los contenidos de carbono orgánico en el suelo puede ayudar a mitigar el efecto invernadero causado en parte por el enriquecimiento de la atmósfera con dióxido de carbono (CO₂).

El manejo balanceado de la fertilidad del suelo, así como la implementación de otras prácticas de manejo como la siembra directa (cero labranza), puede jugar un papel muy positivo al secuestrar C de la atmósfera en los cultivos para luego retenerlo en el suelo. Investigación en siembra directa, conducida por más de 11 años al este del estado de Colorado, Estados Unidos, demostró que la fertilización con N incrementa el contenido de materia orgánica del suelo y que esto aumentó el potencial de secuestrar C en al menos 30%, basándose en el residuo dejado en el campo por los sucesivos cultivos. Se evaluó el efecto del P en el rendimiento de cebada y en subsecuente contenido de materia orgánica durante uno de los años de este estudio. La aplicación de P (70 kg P₂O₅/ha) incrementó el rendimiento y los niveles de materia orgánica en el suelo.

La Figura 2 presenta el efecto del N y P en el contenido de carbono en la capa de los primeros 10 cm de suelo, después del cultivo de cebada. El tratamiento con P también produjo un incremento en la capa entre 10 y 20 cm de profundidad (datos no presentados). Estos datos

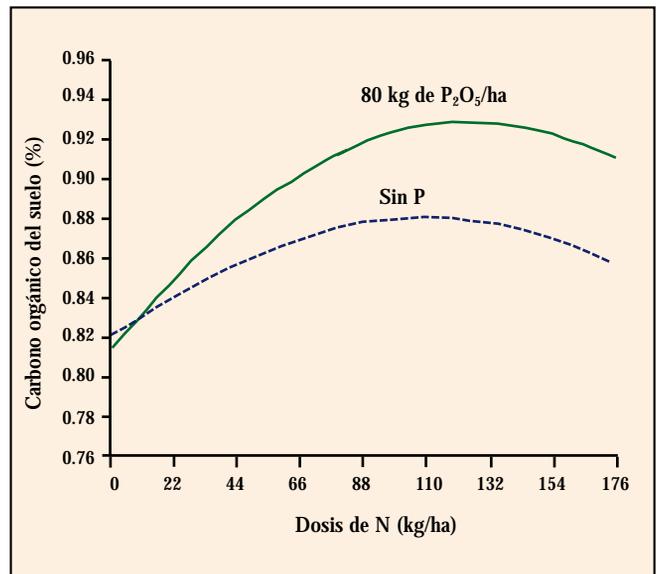


Figura 2. Efecto del nitrógeno y el fósforo en el contenido de carbono en el suelo (0-10 cm de profundidad) después del cultivo de cebada en Halvorson, Colorado, Estados Unidos.

sugieren que la fertilización con P incrementa la materia orgánica del suelo al incrementar la masa de raíces ya que el residuo del trigo fue dejado en el campo sin incorporar. Desafortunadamente, no se continuó investigando el efecto en este experimento.

El buen manejo de la fertilidad también reduce el potencial de erosión al producir un cultivo saludable y de crecimiento vigoroso que se cierra rápidamente cubriendo y protegiendo el suelo efectivamente. Con una fertilización balanceada se produce una mayor cantidad de biomasa. Cuando se trabaja con siembra directa, esto resulta en una mayor cantidad de residuo sobre la superficie lo que reduce significativamente el potencial de erosión con el consecuente arrastre de nutrientes por la escorrentía superficial.

Otro importante punto a considerarse es que el alto rendimiento obtenido permite reducir el número de hectáreas dedicadas a la agricultura, dejando de esta manera espacios libres para vida silvestre y recreación. Este aspecto es importante a medida que la población se incrementa.

Si bien la fertilización adecuada y balanceada tiene un efecto muy importante en la protección ambiental, también no se debe olvidar que el mal manejo de los nutrientes puede causar problemas. Es necesario manejar el cultivo y los nutrientes utilizando prácticas agronómicas que permiten un manejo seguro. Prácticas como el análisis de suelos, la adecuada localización y la aplicación oportuna de los fertilizantes son necesarias para maximizar el efecto de las aplicaciones de nutrientes en el rendimiento y para minimizar el potencial de daño al ambiente.-

DIAGNOSTICO DE LOS REQUERIMIENTOS DE FERTILIZACION DE CULTIVOS EXTENSIVOS

Malcolm E. Sumner*

Introducción

Existen más de 50 factores que gobiernan el crecimiento y el comportamiento de los cultivos. Estos factores se pueden dividir en tres categorías principales: controlables, parcialmente controlables e incontrolables (Figura 1). Ejemplos de factores incontrolables son la luz, temperatura, viento, duración del día y concentración de CO₂ de la atmósfera. En la mayoría de los casos, el productor debe convivir con las condiciones del medio en el que se desenvuelve. Ejemplos de los factores parcialmente controlables son la falta de precipitaciones, que pueden suplementarse con riego, plagas y enfermedades que pueden ser controladas con protectantes y manejo, y ciertas propiedades físicas pueden mejorarse, aunque no cambiarse totalmente, con obras de drenaje o enmiendas. Entre los factores controlables se pueden mencionar dosis y localización de nutrientes, prácticas culturales tales como el espaciamiento entre surcos, densidad y época de siembra, tipo de cultivo y rotaciones. Para que un cultivo exprese su potencial de rendimiento todos estos factores deben estar a un nivel óptimo. Los rendimientos se reducen si uno o más factores se presenta a niveles sub-óptimos. Por esta razón, es importante recordar que aún cuando todos los factores nutricionales se encuentren en niveles óptimos, la presencia de sequía, plagas o cualquier factor no controlable puede resultar en un cultivo improductivo.

Esto significa que por más que el suelo sea deficiente en algún nutriente en particular, la aplicación de ese nutriente no garantiza un incremento en los rendimientos, ya que pueden haber otros factores, más allá de la nutrición, que pueden ser más limitantes.

En cierto modo, predecir los requerimientos de fertilización de un cultivo se parece al juego de naipes conocido como "blackjack". Se conoce bien que los jugadores que piden cartas pueden incrementar las probabilidades de ganarle a la banca, pero también todos saben que no se gana en todas las manos. Lo mismo sucede cuando se fertiliza un cultivo. En una determinada estación del año, todo lo que se espera es incrementar la probabilidad de obtener una respuesta a la aplicación de cierto nutriente, la cual será posible solamente si el resto de los factores están a nivel óptimo o cercano al óptimo, y si el nivel del nutriente en el suelo es limitante. Por ejemplo, un análisis de suelo diagnostica correctamente una deficiencia de fósforo (P), la aplicación de un fertilizante fosfatado puede no tener respuesta en rendimiento si la humedad es limitante en ese año. Sin embargo, se espera tener respuesta en ese suelo en un período de varios años cuando el resto de los factores no sean limitantes. En este contexto, es importante estimar las opciones disponibles al evaluar el estado nutricional de un suelo y un cultivo. Básicamente, existen dos aproximaciones al problema: el análisis de suelo y el análisis foliar.

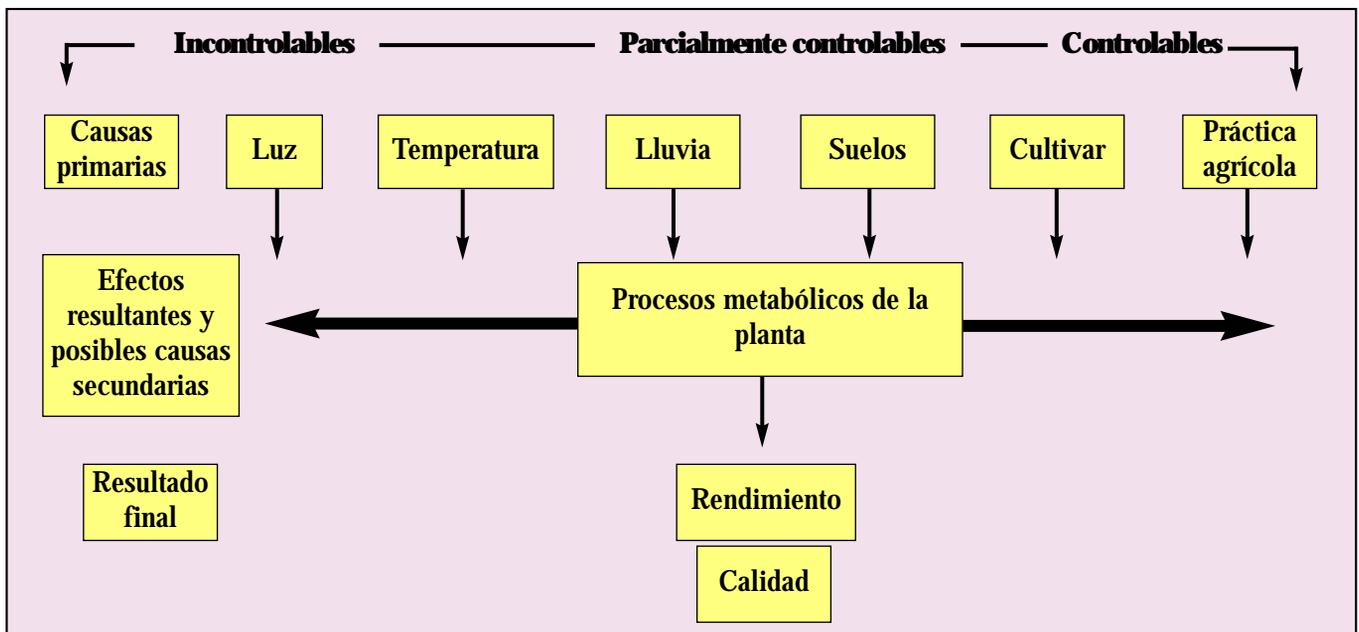


Figura 1. Esquema de las interrelaciones entre el rendimiento y calidad del cultivo, los procesos metabólicos y los factores externos y genéticos (Beaufils, 1973).

* El Dr. Malcolm Sumner es Profesor Emérito, Department of Crop and Soil Sciences, University of Georgia, Athens, GA 30622, USA.

Qué se puede esperar del análisis de suelo?

Los nutrientes en el suelo se hallan en distintas formas que hacen que varíe su nivel de disponibilidad. Por ejemplo, los nutrientes se encuentran en la solución del suelo (inmediatamente disponibles, pero en pequeñas cantidades), en forma intercambiable (rápidamente disponible en grandes cantidades), o dentro de la estructura cristalina de las arcillas (disponibles en grandes cantidades en forma lenta a muy lenta). Para que un análisis de suelo provea información significativa que permita predecir los requerimientos de fertilización de un cultivo, este debe ser capaz de determinar que cantidad del nutrientes (de las categorías arriba mencionadas) estará disponible para el cultivo a lo largo del ciclo de crecimiento de la planta. Es mucho más fácil decirlo que hacerlo. La mayoría de los análisis de suelo se hacen usando soluciones extractantes, salinas o ácidas, que remueven una fracción del nutriente de cualquiera de los sitios de acumulación mencionados, pero no se conoce exactamente de cual. Como se ve, el análisis de suelos es una aproximación empírica y por esta razón, los resultados de la extracción deben reproducirse en forma exacta en cada análisis para que éste tenga validez. Debe recordarse que se asume que un extractante en particular puede remover en poco tiempo (5-30 minutos) una cierta cantidad del nutriente, la misma que equivale a la cantidad que absorbería un cultivo durante todo el ciclo de crecimiento. Es razonable esperar que esta aproximación pudiera presentar potenciales problemas. Recientemente, el uso de resinas aniónicas y catiónicas, que simulan con más exactitud la absorción de nutrientes por las raíces, ha ganado popularidad. De todas maneras, para poder interpretar los resultados de los análisis de suelos, éstos deben dividirse en categorías (bajo, medio o alto) que predigan la probabilidad de obtener respuesta a un nutriente en particular. Para lograr esto, se deben conducir experimentos de campo que sirven para calibrar la respuesta a un nutriente en particular con los valores analíticos obtenidos de la muestra de suelo tomada en la parcela antes de fertilizar.

Por otro lado, el análisis foliar, que es semejante al análisis de sangre en las personas, indica lo que absorbió la planta de toda la oferta presente en el suelo. El análisis foliar está calibrado de manera similar al análisis de suelos y los resultados también se dividen en categorías (deficiente, suficiente y excesivo). Si el nivel foliar de un nutriente está en el rango de deficiencia, no necesariamente se observa respuesta a la aplicación de ese nutriente, si los niveles y el balance de otros nutrientes (u otros factores de la producción) no son óptimos. Además, es imposible determinar la cantidad de nutriente que debe aplicar al suelo, para cubrir una deficiencia, a partir del análisis foliar. Los

mismos argumentos expuestos anteriormente para análisis de suelos se pueden aplicar al análisis foliar. Una mejor estrategia es buscar la forma de optimizar el nivel de todos los nutrientes en el suelo y la planta. Esto potencialmente permite encontrar altos rendimientos, siempre y cuando ningún otro factor sea limitante.

El análisis de suelos y el análisis foliar son herramientas complementarias y se usan como guía para determinar cual o cuales son el o los factores nutricionales que limitan el crecimiento del cultivo. Si las muestras de suelo o de tejido son tomadas, analizadas o interpretadas incorrectamente, es imposible hacer un adecuado diagnóstico. Esto demuestra la importancia de contar con técnicos experimentados en esta cadena de eventos. Una buena recomendación de fertilización no puede hacerse en una computadora, ya que no es posible programar toda la experiencia de un agrónomo experimentado. Las respuestas en rendimiento solamente pueden esperarse cuando el contenido de nutrientes es limitante. El análisis de suelos y foliar cubre solamente 15-20 nutrientes (factores) de los más de 50 que gobiernan el crecimiento de los cultivos.

A pesar de todo lo discutido con respecto a las probabilidades de lograr una correcta recomendación de fertilización basándose en el análisis de suelo y foliar, esta estrategia ha sido exitosa a lo largo de los años. La razón de este éxito radica en el hecho de que los nutrientes son muchas veces más limitantes que otros factores de la producción y a que, como se verá más adelante, el análisis de suelo y análisis foliar bien realizados evalúan adecuadamente las necesidades de fertilización de los cultivos. La discusión que se presenta a continuación responde las preguntas más frecuentes con respecto al análisis de suelos.

Análisis de suelo

¿Qué es el análisis de suelos?

En general, se define como análisis de suelos a cualquier medición, química o física, hecha en el suelo. En forma particular, el análisis de suelos se refiere a cualquier análisis químico rápido para evaluar el nivel de nutrientes disponibles para la planta, la salinidad o acidez y los elementos tóxicos presentes en el suelo. Bajo el análisis de suelo también se incluyen las interpretaciones y evaluaciones de los resultados y las recomendaciones de fertilización y enmiendas que se basan en estos resultados (Peck y Soltanpour, 1990).

¿Cuándo se debe muestrear el suelo?

En el caso de cultivos anuales, como maíz, soya o arroz, las muestras deben tomarse al menos algunos

meses antes de la siembra, para dejar suficiente tiempo para hacer las determinaciones de laboratorio, interpretar los resultados, formular las recomendaciones de fertilización, comprar los fertilizantes y/o enmiendas y finalmente aplicarlos en el lote. En rotaciones, el cultivo de mayor beneficio económico debe tener la prioridad. En sistemas intensivos, las muestras deben ser tomadas preferentemente una vez al año, o al menos una vez cada dos años.

¿Cómo se debe tomar la muestra del suelo?

En cultivos bajo labranza convencional, se debe muestrear la capa arable a una profundidad de 10 a 15 cm. Bajo siembra directa (labranza cero) es preferible muestrear la capa superficial hasta 5 cm de profundidad, ya que todas las aplicaciones de nutrientes son superficiales y no se incorporan. Para representar adecuadamente un área de producción, lote o sector del lote, se deben tomar al menos 15-20 submuestras que conjuntamente forman una muestra compuesta. Las submuestras pueden tomarse al azar por todo el lote o en un zig-zag definido a través del lote (Figura 2). Los tubos de muestreo son preferibles, pero también se puede utilizar una pala de desfonde para hacer un corte vertical en el suelo. Las submuestras que corresponden a una muestra compuesta se mezclan cuidadosamente sobre una superficie plana o en un balde plástico para asegurarse una buena mezcla. Luego se esparce el suelo, se lo subdivide en 4 cuartos y se descartan 2. Se vuelve a mezclar y cuartear hasta que se tenga el volumen adecuado de suelo para enviar al laboratorio (alrededor de 500 g). Preferiblemente, la muestra debe secarse al aire, particularmente si pasa un extenso período antes que la muestra sea enviada al laboratorio. Se debe tener mucho cuidado para no contaminar la muestra. Nunca se deben utilizar bolsas viejas o previamente usadas (Sims, 1999).

¿Cuáles son los métodos que deben usarse para extraer los nutrientes del suelo?

Existe una amplia gama de extractantes disponibles, sin embargo, el laboratorio debe escoger el extractante apropiado para el tipo de suelo dominante en su área de influencia. Si bien el método de extracción con resinas (Nuerenberg et al., 1998) es usado para todo tipo de suelos, los extractantes más comunes para suelos tropicales son Bray 1 (0.025 MHCL+0.03 MNH₄F) (Bray y Kurtz, 1945) u Olsen modificado (NaHCO₃ + EDTA) para macro y micronutrientes (Olsen et al., 1954).

Debido a que las formas disponibles de N [amonio (NH₄⁺) y nitrato (NO₃⁻)], y en cierto modo el S (SO₄⁻²), cambian rápidamente de una forma a otra en cortos períodos de tiempo, no es frecuente analizar el suelo

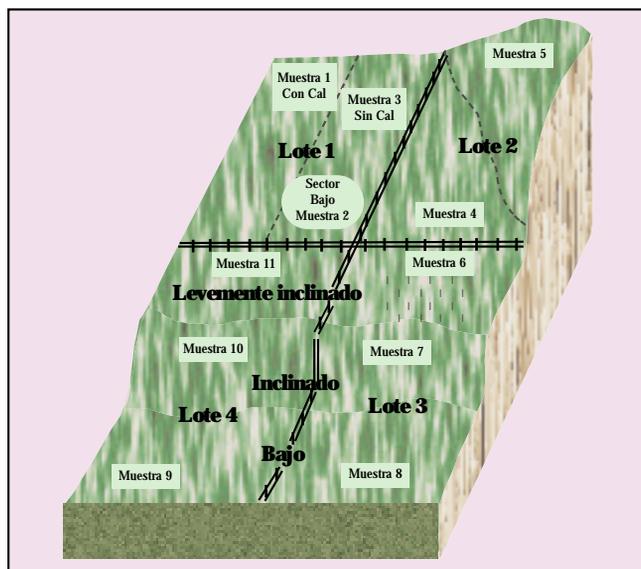


Figura 2. Ilustración de los métodos de muestreo de suelos para ambientes uniformes (Adaptado de Nebraska Agricultural Extension Service).

por estos nutrientes. Las recomendaciones de fertilización para N se basan generalmente en el rendimiento esperado y la mineralización potencial del suelo, mientras que las aplicaciones de S se hacen cuando se observan síntomas de deficiencia en el cultivo en años previos. Sin embargo, el análisis de NO₃⁻ residual se ha difundido en áreas de clima seco, donde las lluvias son insuficientes para lixiviar el NO₃⁻ por debajo de la zona de las raíces (Sims, 1999). Estos análisis presiembra requieren de un muestreo hasta una profundidad de 60 o incluso a 100 cm para determinar el contenido total de NO₃⁻ en el perfil, consecuentemente, el muestreo es muy laborioso. En regiones más húmedas, se ha desarrollado un sistema que determina la necesidad de la aplicación complementaria de N en maíz basándose en el análisis de NO₃⁻, que normalmente se hace cuando el cultivo se encuentra en el estado de 5-6 hojas desarrolladas. Este sistema sirve para prevenir los problemas de exceso de fertilización y requiere muestrear el suelo hasta 30 cm de profundidad cuando el cultivo tiene aproximadamente 30 cm de altura. La muestra debe ser rápidamente analizada e interpretada para permitir que la aplicación de N sea oportuna. Los análisis de N descritos anteriormente podrían pasar a ser obligatorios para prevenir la contaminación de napas freáticas con NO₃⁻. Situación que ocurre cuando las cantidades de NO₃⁻ en el perfil exceden los requerimientos de los cultivos (Figura 3). En ambos casos el extractante utilizado es KCl 2M.

El grado de acidez del suelo debe evaluarse midiendo primeramente el pH (preferentemente en una solución 0.01M CaCl₂). Cuando los valores de pH en agua son < 5.4 (o pHCaCl₂ < 5.0), se debe medir el aluminio extractable con una solución KCl 1M (Farina et al., 1980; van Lierop, 1990). La necesidad de encalado está determinada por la cantidad de aluminio

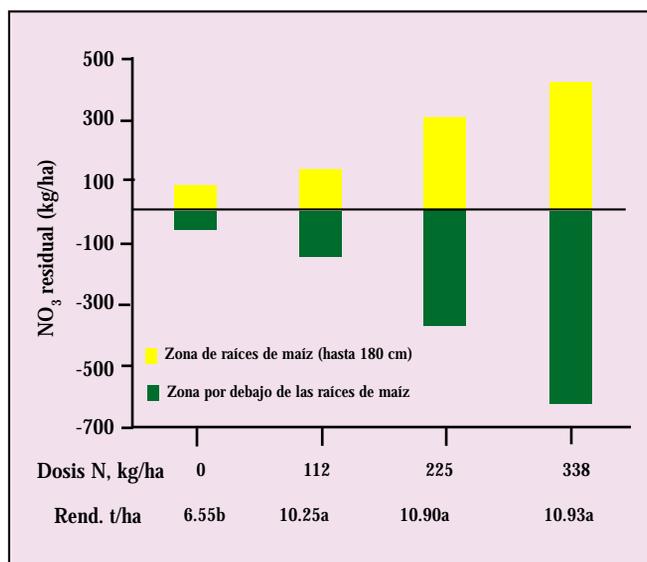


Figura 3 Acumulación de NO_3^- residual dentro y fuera de la zona radical de maíz bajo riego en suelos franco limosos (serie Cozad) en función de la dosis de N aplicado y el rendimiento obtenido. Letras distintas indican diferencias significativas en rendimiento ($p > 0,05$) (Olson et al., 1987).

intercambiable. En ciertos suelos se puede usar los métodos buffer, como el de Shoemaker, McLean y Pratt (Shoemaker et al., 1961). Los micronutrientes (Zn, Cu, Mn y Fe) se extraen generalmente extraídos con agentes acomplejantes como el DTPA (ácido dietilentriaminopentacético) (Lindsay y Norvell, 1978) y el boro (B) es extraído con agua caliente (Berger y Truog, 1940). En general, el análisis de micronutrientes es menos frecuente porque en muchos casos no se dispone de calibraciones adecuadas.

¿Cómo se calibran los análisis de suelo?

Los nutrientes se pueden extraer del suelo con cualquier solución química. El proceso químico no tiene complicaciones serias, particularmente con la tecnología actual. El mayor problema del análisis de suelo está en la calibración de los valores analíticos con los rendimientos del cultivo. En otras palabras, el número que reporta el contenido de nutrientes debe reflejar las condiciones nutricionales del suelo, es decir, si el contenido es bajo, el crecimiento y rendimiento del cultivo es pobre y se espera una buena respuesta a la aplicación del nutriente. Si el contenido es alto, el cultivo debe crecer y rendir bien y no se espera respuesta a la aplicación del nutriente. Cualquier análisis de suelos que no se haya calibrado simplemente presenta un número que no sirve para hacer una recomendación. La calibración apropiada se logra a partir de ensayos de campo en los cuales se documenta la respuesta en rendimiento a los diferentes contenidos de nutrientes obtenidos con un extractante en particular, en condiciones normales o buenas para el crecimiento de los cultivos. Datos de cultivos de bajos rendimientos no deberían tenerse en cuenta. Para

calibrar un análisis de suelos, para un nutriente determinado, se debe graficar los valores de análisis (con un extractante en particular) en función del rendimiento expresado como porcentaje del máximo rendimiento obtenido en los ensayos a campo en diferentes años, como se ilustra en la Figura 4.

Para determinar la relación entre el rendimiento óptimo del cultivo y el valor del análisis de suelo asociado con este rendimiento (93-95% del máximo rendimiento) se utilizan modelos matemáticos como el presentado en la Figura 4a. De igual manera, se puede usar el procedimiento de Cate-Nelson con el cual se generan cuadrantes sobre la dispersión de puntos dados el rendimiento del cultivo y su respectivo análisis de suelos. La línea horizontal se localiza en el óptimo rendimiento relativo y la línea vertical se coloca en el sitio que minimice los puntos que caigan en el cuadrante superior izquierdo y en el inferior derecho (Figura 4b). El valor del análisis de suelo correspondiente con la intersección de estas dos líneas es el denominado nivel o valor crítico. La parte de la curva con respuesta (por debajo del rendimiento óptimo) se subdivide en diferentes categorías que indican la probabilidad de obtener una respuesta a la aplicación de un nutriente en particular (Tabla 1).

La calibración del análisis de suelos descrita arriba necesariamente requiere de experimentos de campo formales que prueben niveles crecientes del nutriente y relacionen la respuesta en rendimiento con el análisis de suelo. Sin embargo, se puede lograr una buena aproximación cuando no se tiene las condiciones para conducir experimentación formal. Se pueden utilizar los datos de rendimiento y el análisis de suelo de lotes de productores para generar diagramas de dispersión

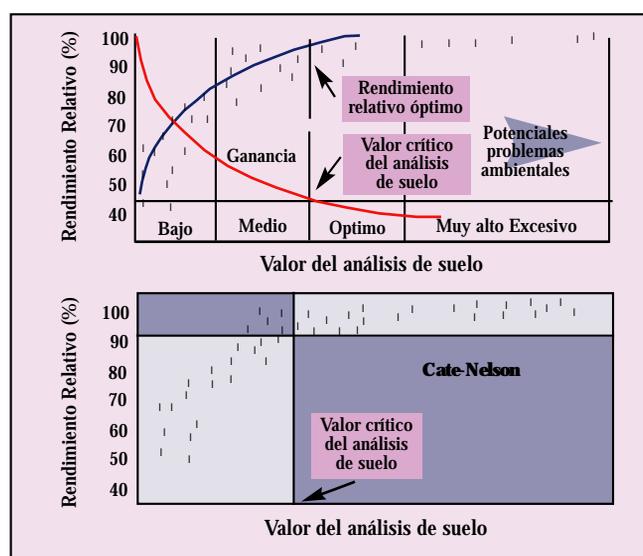


Figura 4 Esquema general de los principios de calibración del análisis de suelo usando (a) modelos curvilíneos y (b) aproximación por Cate-Nelson (Sims, 1999).

como se ilustra en la Figura 5. Luego se puede trazar límites con los datos para determinar las categorías de respuesta señaladas anteriormente (Tabla 1). En la Figura 5 se puede observar que los rendimientos se incrementan con los valores de análisis de suelo hasta llegar a un máximo y luego decrecen debido a algún otro factor limitante (nutriente). En este caso, el P gobierna el rendimiento únicamente en aquellos puntos cercanos a la línea límite, fuera de ella, cualquier otro factor menos el P es responsable de los rendimientos decrecientes. La cantidad de nutriente a aplicar para cada categoría de análisis de suelo se obtiene de calibraciones previas de la cantidad de nutriente necesaria para elevar el valor de análisis de suelo en un incremento dado (Figura 6).

¿Cómo se hacen las recomendaciones de fertilización?

Una vez que se han calibrado los análisis de suelo se conoce que un particular nivel de nutriente en el suelo puede producir un relativo dado. En función de la cantidad de nutriente requerido para elevar el valor del análisis de suelo en una unidad, es relativamente

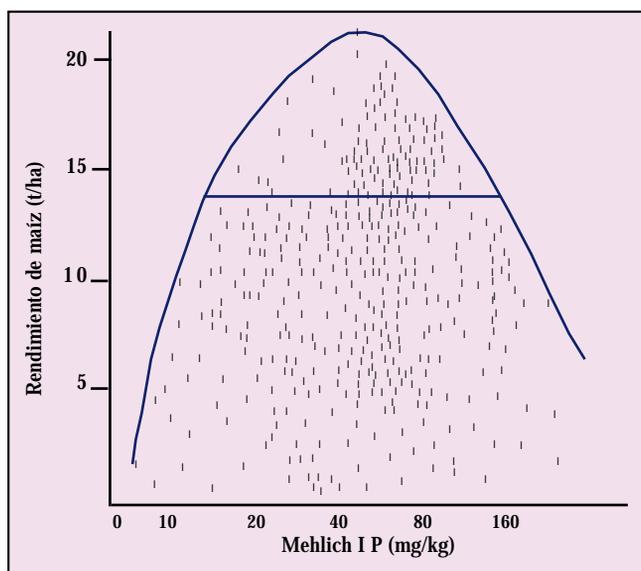


Figura 5. Diagrama de dispersión de los puntos de rendimientos de maíz en relación con el análisis de P realizado con la solución Mehlich I como extractante, junto con el límite horizontal de confinamiento en suelos de la planicie del sudeste costero del sudeste de Estados Unidos (Summer, 1987).

Tabla 1. Categorías de análisis de suelo y recomendaciones generales basadas en las respuestas de los cultivos y el impacto ambiental (Sims, 1999).

Categoría	Definición de la categoría	Recomendaciones
Respuesta del cultivo		
Por debajo del óptimo (muy por debajo, debajo, medio)	El nutriente es considerado deficiente y probablemente limite el rendimiento del cultivo. Existe una alta a moderada probabilidad de una respuesta económica a la aplicación del nutriente.	La recomendación de los nutrientes se basa en la respuesta de los cultivos y a través del tiempo se alcanzarán los rangos de óptima fertilidad. Se recomiendan fertilizantes de arranque en algunos cultivos.
Óptimo (suficiente, adecuado)	El nutriente se considera adecuado y probablemente no limitará el crecimiento del cultivo. Hay una baja probabilidad de respuesta económica al aplicar el nutriente.	Si se realizan anualmente los análisis de suelo, no es necesario agregar ningún nutriente para el cultivo actual. Si no se muestrea anualmente, se recomienda fertilizar para mantener la fertilidad del suelo en el rango óptimo. Se recomiendan fertilizantes de arranque en algunos cultivos.
Por arriba del óptimo (alto, muy alto, excesivo)	El nutriente es considerado más que adecuado y no limitará el rendimiento. Existe una probabilidad muy baja de encontrar respuesta económica al agregar un nutriente. En muy altos niveles existe la posibilidad de producir efectos negativos en el cultivo al aplicar el nutriente.	No se recomienda agregar ningún nutriente. En niveles muy altos a excesivos, una acción curativa será necesaria para prevenir problemas de fitotoxicidad o de medio ambiente.
Impacto ambiental		
Impacto ambiental potencialmente negativo	Con niveles muy altos de nutrientes existe un alto potencial de causar degradación ambiental y el monitoreo debe ser permanente. La probabilidad de que aparezca un problema ambiental depende del sitio (pendiente, hidrología, precipitaciones).	Si existe algún otro factor que minimice el impacto ambiental se lo debe manejar, generalmente otro nutriente para mantener balance. En caso de que otro factor más allá de nutrición promueva un potencial impacto ambiental, no se recomendarían aplicaciones de nutrientes. Una acción curativa podrá ser necesaria para proteger el ambiente.

Tabla 2. Recomendaciones de P y K para maíz bajo riego basándose en análisis de suelo en suelos arenosos de la Planicie Costera de Georgia (EEUU) usando Melich I como extractante.

Contenido de P en suelo, mg P/kg	Contenido K en el suelo, (mg K/kg)			
	Bajo; <30	Medio; 31-75	Alto; 76-125	Muy alto; >126
Recomendación de fertilización; N-P ₂ O ₅ -K ₂ O, kg/ha				
Bajo; <16	220*-125-150	220-125-100	220-125-80	220-125-0
Medio; 16-30	220-100-150	220-100-100	220-100-80	220-100-0
Alto; 31-50	220-80-150	220-80-100	220-80-80	220-80-0
Muy alto; >51	220-0-150	220-0-100	220-0-80	220-0-0

* Basado en una expectativa de rendimiento de 12.5 t/ha

Tabla 3. Respuesta del cultivo de cebada a la aplicación de fertilizante potásico para diferentes categorías de análisis de suelos en Alberta, Canadá (Walker, 1978).

Contenido de K en el suelo (0-15 cm)	Rango basado en la calibración	Proporción de respuesta en el campo	Incremento en rend. debido a la aplicación de K*
mg/kg	-----	%	-----
Extremadamente bajo	<25	100	>1000
Muy bajo	25-50	75	242
Bajo	50-75	66	47
Medio	75-100	24	30
Alto	100-125	18	34
Muy alto	>125	3	11

* Basado en una expectativa de rendimiento de 12.5 t/ha

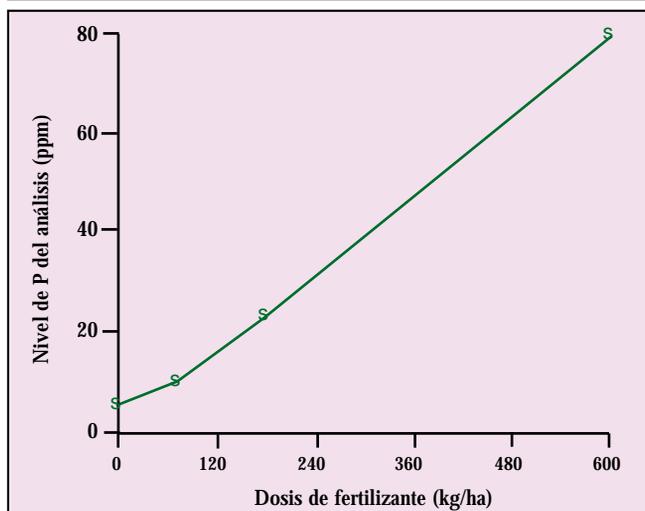


Figura 6. Efecto de la fertilización con P en el contenido de P (Olsen) en un suelo franco limoso calcáreo de Idaho (Westrman, 1977).

sencillo realizar la recomendación de fertilización. Esta información sale de los experimentos de calibración que probaron niveles del nutriente. Luego, las dosis de fertilizante requeridas se tabulan en tablas que relacionan los valores de análisis de suelo con el nivel recomendado del nutriente requerido. Estas tablas son las que se usan rutinariamente para diseñar las recomendaciones respectivas (Tabla 2).

¿Qué tan bien funcionan los análisis de suelo?

Se pueden citar muchos ejemplos que muestran que el análisis de suelo funciona en la práctica, sin embargo, aquí se presentan solamente casos. En la Tabla 3 se presenta un ejemplo de la respuesta a la fertilización con K recomendada siguiendo los patrones establecidos después de la calibración.

Bibliografía

- Beaufils, E.R. 1973. The Diagnosis and Recommendation Integrated System. Univ. of Natal Soil Sci. Bul. 1.
- Berger, K.C., and E. Truog. 1940. Boron deficiency as revealed by plant and soil tests. J. Am. Soc. Agron. 32:297-301.
- Bray, R.H., and L.T. Kurtz. 1945. Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soils. Soil Sci. 59:39-45.
- Farina, M.P.W., M.E. Sumner, C.O. Plank, and W.S. Letsch. 1980. Exchangeable aluminum and pH as indicators of lime requirement for corn. Soil Sci. Soc. Am. J. 44:1036-1040.
- Lindsay, W.L., and W.A. Norvell. 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. Soil Sci. Soc. Am. J. 42:421-428.
- Nuerenberg, N.J., J.E. Leal, and M.E. Sumner. 1998. Evaluation of an anion-exchange membrane for extracting plant available phosphorus in soils. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 29:467-479.
- Olson, R.A., F.N. Anderson, K.D. Frank, P.H. Grabouski, G.W. Rehm, and C.A. Shapiro. 1987. Soil testing interpretations: Sufficiency vs. build-up and maintenance. pp. 41-52. In J.R. Brown (Ed.) Soil Testing: Sampling, Correlation, Calibration, and Interpretation. Soil Science Society of America, Madison, WI.
- Peck, T.R., and P.N. Soltanpour. 1990. The principles of soil testing. pp. 1-9. In R.L. Westerman (Ed.) Soil Testing and Plant Analysis. Soil Science Society of America, Madison, WI.
- Shoemaker, H.E. E.O. McLean, and P.F. Pratt. 1961. Buffer methods of determining lime requirement of soils with appreciable amounts of extractable aluminum. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 25:274-277.
- Sims, J.T. 1999. Soil fertility evaluation. pp. D113-D153. In M.E. Sumner (Ed.) Handbook of Soil Science. CRC Press, Boca Raton, FL.
- Sumner, M.E. 1987. Field experimentation: Changing to meet current and future needs. pp. 119-131. In J.R. Brown (Ed.) Soil Testing: Sampling, Correlation, Calibration, and Interpretation. Soil Science Society of America, Madison, WI.
- van Lierop, W. 1990. Soil pH and lime requirement determination. pp. 73-126. In R.L. Westerman (Ed.) Soil Testing and Plant Analysis. Soil Science Society of America, Madison, WI.
- Walker, D.W. 1978. Potassium fertilization in central Alberta. Better Crops Plant Food 62:13.
- Westermann, R.L. 1977. Proc. 28th Ann. Northwest Fert. Conf. pp. 141-146.

REPORTE DE INVESTIGACION RECIENTE

DOSIS CRECIENTES DE SULFATO DE COBRE Y OXICLORURO DE COBRE EN CAFE

Barros, U. V., J. B. Matiello y C. M. Barbosa. 1997. Doses crescentes de sulfato de cobre e oxicleto de cobre no plantio do cafeeiro em solo LVAh. In: Congresso Brasileiro de Pesquisas cafeiras, 23., Manhuacu. Trabalhos apresentados.... Rio de Janeiro, MAA/PROCAFE/PNFC, p.3 9-40.

En este ensayo se constató que la fertilización con Cu vía suelo, presentó un incremento de producción del 36% en relación al testigo. Mientras que mediante fertilización foliar con Cu el incremento fue del 31%. En cuanto a la fuente y a la dosis, se observó mayor producción con la mayor dosis de oxicluro de Cu, (4 g/sitio) seguido de dosis mayores de sulfato de Cu, (10 g/sitio). En cuanto al sistema radicular, la fertilización con Cu incrementó, en promedio, 73% la longitud de las raíces. Además, se pudo verificar que aplicaciones de Cu tanto vía suelo como vía foliar y con las mejores dosis, influyeron positivamente en el tamaño de grano.

El análisis reveló que el contenido de Cu foliar se incrementó con las dosis aplicadas al suelo, sin embargo, el resultado fue superior cuando se hicieron aplicaciones vía foliar, debido en parte a su mejor absorción y al residuo remanente del producto sobre el follaje, pero esto no afectó positivamente la producción. Se concluye que: 1.- La corrección con Cu se puede hacer tanto vía suelo como vía foliar en dosis correctas e incorporándolo en la preparación del sitio de plantación. 2.- La fuente más eficiente de Cu fue el Oxicluro de Cu, principalmente vía foliar y 3.- En suelos LVAh de la zona de la Mata, MG, la deficiencia de Cu es seria y su corrección, principalmente en plantaciones de alta densidad, debe iniciarse en el sitio de plantación y posteriormente complementarlo con fertilización foliar.-

ANATOMIA DE APICES RADICULARES DE FREJOL CV. CARIOCA SOMETIDOS A NIVELES DE B EN SOLUCION NUTRITIVA

M. A. Moraes-Dallaqua, C. M. Beltrati, J. D. Rodríguez. Anatomía de ápices regulares de feijao cv. Carioca submetidos a niveis de Boro en solucao nutritiva. 2000. Scientia Agrícola, V.57 No.3, p. 425-430.

Se estudiaron las alteraciones anatómicas en los ápices radicales de fréjol (*Phaseolus vulgaris* L. cv. Carioca) en un experimento completamente al azar, sometido a diferentes niveles de B en solución nutritiva. Se estudiaron 3 tratamientos como se describen a continuación: T1 0.50 mg·L⁻¹ de B (testigo); T2 0.25 mg·L⁻¹ de B (nivel medio); T0 sin B. Se tomaron muestras en 3 estadios sucesivos de desarrollo de la planta a lo largo de su ciclo de cultivo. Se evaluaron las alteraciones anatómicas por medio de disecciones longitudinales de ápices radicales y posteriormente se analizaron comparativamente por medio

de estudios cito-histológicos y con el empleo de microscopio de luz. Se consideraron como testigo a las plantas sometidas al nivel de 0.50 mg·L⁻¹ de B en solución nutritiva. Se pudo constatar que la omisión de este micronutriente provocó inhibición de la división y alargamiento celular, hipertrofia de células, desorganización de elementos vasculares en la raíz, impidiendo que la planta completase su ciclo. Las plantas murieron alrededor de 55 días después del trasplante. El nivel de 0.25 mg·L⁻¹ de B en solución nutritiva, aunque provocó desorganización en el ápice radicular, no impidió el desarrollo de la planta.-

RELACION ENTRE EL ZINC DISPONIBLE, MEDIANTE DIFERENTES EXTRACTANTES Y LAS FRACCIONES DE ZINC EN MUESTRAS DE SUELO

Oliveira, M. F. G., R. F. Novais, J. C. L. Neves, C. A. Vasconcellos y V. M. C. Alves. 1999. Relacao ente o zinco "disponibile", por diferentes extractores, e as fracoes de Zn em mostras de solos. R. Bras. Ci. Solo, 23:827-836.

Se han desarrollado varios procedimientos de extracción para determinar el Zn disponible para las plantas en el suelo. Una alternativa utilizada en el estudio de extractantes del Zn disponible se refiere al fraccionamiento del Zn total del suelo, para comprender las reacciones en el suelo y el comportamiento de los extractantes. Este trabajo tuvo como objetivo evaluar la dependencia existente entre el contenido de Zn disponible, por diferentes extractantes, las fracciones de este elemento en el suelo y las características de los suelos. Para esto se aplicaron dosis de 0 y 20 mg/dm³ de Zn a 12 muestras de suelo que posteriormente se incubaron por 30 días. Las muestras se colectaron de la capa de 0-20 cm de profundidad y correspondieron a los grandes grupos: Latossol rojo-oscuro (LE), Latossol rojo-amarillo (LV), Latossol amarillo (LA), Podozólico rojo-amarillo (PV) y Arena Quartzosa (AQ). Se determinó Zn mediante DTPA-TEA-CaCl₂, HCl (0.1 mol L⁻¹), Melich-1 (M-1) y Mehlich-3 (M-3). Las muestras de suelos se sometieron además al fraccionamiento de Zn, determinándose Zn intercambiable (Zntr), ligado a la materia orgánica (Znmo), ligado al óxido de manganeso (ZnMn), ligado al óxido de Fe amorfo (ZnFea) y ligado al óxido de Fe cristalino (ZnFec). Se concluye que los extractores DTPA y M-3 revelaron mayor sensibilidad a las características del suelo relacionadas con el factor capacidad (poder tampón). Los extractantes M-1 y HCl mostraron menor sensibilidad y menor correlación con estas características, considerando su mayor poder de extracción y consecuente menor desgaste. La relación Zn recuperado por el extractante a Zn aplicado al suelo demostró ser la característica que mejor se correlacionó con características del suelo relacionadas con el factor capacidad de Zn. La fracción de Zn intercambiable estuvo más representada por la cantidad de Zn obtenido por los extractantes probados. Las fracciones de Zntr, Znmo, ZnMn, ZnFea y ZnFec no fueron suficientes para explicar en todos los casos, el Zn recuperado por los extractantes.-

CURSOS Y SIMPOSIOS

1. 2do. CONGRESO BOLIVIANO DE LA CIENCIA DEL SUELO

Organiza : Sociedad Boliviana de la Ciencia del Suelo
Lugar y Fecha : Cochabamba, Bolivia
 18 - 20 septiembre, 2001
Información : Soc. Boliviana de la Ciencia del Suelo
 Edgar Gutiérrez
 Casilla 4926
 Cochabamba - Bolivia
 Telf.: (4) 288 710
 Fax: (4) 250 329
 www.geocities.com/suelos2001

2. THIRD INTERNATIONAL CONFERENCE ON LAND DEGRADATION

Organiza : ICLD
Lugar y Fecha : Río de Janeiro, Brasil
 24 - 28 septiembre, 2001
Información : Beata Madari
 ICLD3 Conference Secretary
 Embrapa Solos
 Rua Jardim Botânico 1024
 222460-000 Río de Janeiro
 RJ, Brasil
 Telf.: (55) 21 294 8039
 Fax.: (55) 21 274 5291
 E-mail: icld3@cnps.embrapa.br
 www.cnps.embrapa.br/ICLD

3. XV CONGRESO LATINO AMERICANO DE LA CIENCIA DEL SUELO

Organiza : Sociedad Cubana de la Ciencia del Suelo y Sociedad Latino Americana de la Ciencia del Suelo
Lugar y Fecha : Varadero - Cuba,
 11 - 16 noviembre, 2001
Información : Dr. Rafael Villegas
 Av. Van Troi No. 17203
 Boyeros CP 19210
 La Habana - Cuba
 Fax: 53 7 666036
 E-mail: xvcongreso@inica.edu.cu

4. CUARTA CONFERENCIA FERTILIZANTES CONO SUR

Organiza : British Sulphur Publishing
Lugar y Fecha : Porto Alegre, Brasil
 27 - 29 noviembre, 2001
Información : British Sulphur Publishing
 General Conference Information
 Telf.: (44) 0 20 7903 2402
 Fax: (44) 0 20 7903 2432
 Web: www.britishtulphur.com

NUESTRO SITIO WEB: www.inpofos.org

Desde el Instituto de la Potasa y el Fósforo (PPI) y el Instituto de la Potasa y el Fósforo de Canadá (PPIC) hemos lanzado un nuevo sitio en Internet donde se podrá encontrar información de las actividades de investigación y educación del Instituto, así como también estadísticas de producción de cultivos, uso de

fertilizantes y otras.

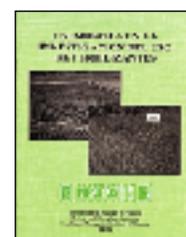
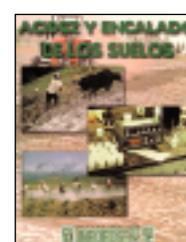
INPOFOS A. S. tiene su propia página en este nuevo sitio donde incluiremos toda la información correspondiente a la región.

The image shows two screenshots of the INPOFOS website. The left screenshot is the 'PPI/PPIC Home' page, featuring a search bar, a world map with highlighted regions, and a list of features including 'All About P', 'All About K', 'CCA', 'Chloride Site', 'Crop Nutrients and the Environment', 'Soil Fertilization', and 'Links'. The right screenshot is the 'Northern Latin America (INPOFOS)' regional profile page, which includes a search bar, a profile picture of Dr. José Espinosa, contact information (address, phone, fax), and a map of the region highlighting countries like Ecuador, Peru, Colombia, Venezuela, Costa Rica, and Panama. Both pages have a blue sidebar with navigation links and a footer with copyright information and member names.

PUBLICACIONES DE INPOFOS

Las siguientes publicaciones de INPOFOS se encuentran disponibles al siguiente costo

- | | | | |
|---|--|----|-------|
| U | NUEVA PUBLICACION Síntomas de Deficiencias Nutricionales y Otros Desórdenes Fisiológicos en Banano. Guía de Campo para técnicos y agricultores que permite identificar en el campo los síntomas de deficiencia nutricional, conocer sus causas y determinar una estrategia de prevención o recuperación. | \$ | 8.00 |
| U | NUEVA IMPRESION Síntomas de Deficiencias de Nutrientes y Desórdenes en Palma Aceitera. Guía de Bolsillo para técnicos a cargo del manejo de plantaciones que deseen identificar los síntomas de deficiencia en el campo, conocer algo de sus causas y como éstas podrían prevenirse o remediarse. | \$ | 8.00 |
| U | Acidez y Encalado de los Suelos. Boletín que discute los fundamentos de la acidez del suelo y permite planificar adecuadamente las estrategias de encalado en suelos tropicales. | \$ | 8.00 |
| U | Estadística en la Investigación del Uso de Fertilizantes. Publicación que presenta conceptos actuales de diseño experimental e interpretación estadística de los datos de investigación de campo en el uso de fertilizantes. | \$ | 4.00 |
| U | Nutrición de la Caña de Azúcar. Este manual de campo es una guía completa para la identificación y corrección de los desórdenes y desbalances nutricionales de la caña de azúcar. El tratamiento completo de la materia y las excelentes ilustraciones hacen de este manual una importante herramienta de trabajo en la producción de caña. | \$ | 8.00 |
| U | Manual de Nutrición y Fertilización del Café. Este manual presenta conceptos modernos del manejo de la nutrición y fertilización del café como herramienta para lograr rendimientos altos sostenidos. | \$ | 20.00 |
| U | Manual Internacional de Fertilidad de Suelos. Publicación didáctica sobre uso y manejo de suelos y fertilizantes con datos y ejemplos de diferentes partes del mundo. | \$ | 15.00 |
| U | 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. | \$ | 4.00 |
| U | Manual de Nutrición y Fertilización del Banano: Una visión práctica de la fertilización. Documento que resalta modernos conceptos de nutrición y fertilización de banano y que permite lograr recomendaciones prácticas sobre dosis de nutrimentos necesarios para lograr altos rendimientos sostenidos de banano. | \$ | 20.00 |
| U | 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. | \$ | 5.00 |
| U | Conceptos Agronómicos. Panfletos que describen conceptos agronómicos básicos que ayudan en el manejo eficiente de suelos y nutrientes. Disponible: El Cloro, verdades y mitos. | \$ | 0.50 |



PEDIDOS DE PUBLICACIONES: Las publicaciones de INPOFOS pueden ser adquiridas en las siguientes direcciones:

COLOMBIA: Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo (SCCS). Carrera 11 No. 66-34, Oficina 601. Telf. y Fax.: 211-3383. E-mail: scsuelo@ibm.net. Bogotá, Colombia.

COSTA RICA: Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo (ACCS). Código Postal 2060. Telf.: 224-3712 Fax: 224-9367 E-mail: fbertsch@cariari.ucr.ac.cr. San José, Costa Rica.

PERU: Corporación MISTI S.A. Ing. Federico Ramírez, Tudela y Varela 179, San Isidro. Telf.: 222-6722 Fax: 442-9881 E-mail: framirez@corpmisti.com.pe. Lima, Perú.

EN OTROS PAISES: Solicitar las publicaciones a las oficinas de INPOFOS en Quito. Adjuntar cheque girado contra una plaza de los Estados Unidos a nombre del Instituto de la Potasa y el Fósforo (INPOFOS) por el valor de las publicaciones más costo de correo (4.00 US \$ dólares por publicación).

