



## CONTENIDO

	Pág.
<b>Pérdidas de nitrógeno por volatilización en cafetales en etapa productiva</b> .....	1
<b>Reservas mundiales de nutrientes para fertilizantes</b> .....	5
<b>Resina de intercambio iónico para determinar la disponibilidad de fósforo en el suelo</b> .....	11
<b>Reporte de Investigación Reciente</b> .....	15
- Mineralización de residuos y crecimiento de raíces en caña de azúcar en relación a la fertilización con nitrógeno a la siembra	
- Fuentes de nitrógeno y épocas de aplicación en trigo en labranza cero en suelos del cerrado	
<b>Cursos y Simposios</b> .....	15
<b>Publicaciones Disponibles</b> .....	16

Editores : **Dr. José Espinosa**  
**Dr. Raúl Jaramillo**

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



Misión: Desarrollar y promover la información científica sobre el manejo responsable de la nutrición de las plantas para beneficio de la humanidad

## PERDIDAS DE NITROGENO POR VOLATILIZACION EN CAFETALES EN ETAPA PRODUCTIVA

Luis Leal<sup>1</sup>, Alveiro Salamanca<sup>2</sup> y Siavosh Sadeghian<sup>3</sup>

### Introducción

Se ha demostrado que el cultivo del café responde positivamente a la aplicación de nitrógeno (N). Para condiciones de Colombia se recomienda aplicar entre 120 y 300 kg de N ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, de acuerdo al contenido de Materia Orgánica (MO) del suelo, al nivel de sombra y a la densidad de siembra (Sadeghian, 2008). Además, se ha encontrado que cuando se deja de aplicar N, la producción puede reducirse a menos de la mitad cuando el contenido de MO del suelo es menor a 8 % o cuando es mayor al 30 % (Sadeghian, 2009).

En la caficultura colombiana, la urea es la fuente de N más utilizada para suplir los requerimientos del cultivo, debido a su alto contenido de N (46 %) y a su relativo bajo costo. Sin embargo, cuando esta fuente no se incorpora en el suelo se producen elevadas pérdidas por volatilización de N en forma de amoníaco (NH<sub>3</sub>).

La volatilización del N se origina por las reacciones de hidrólisis de la urea en contacto con el agua en la superficie del suelo. Estas reacciones producen NH<sub>3</sub> y dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) que son gases que se pierden fácilmente por volatilización. La magnitud de las pérdidas está determinada por factores ambientales (temperatura, lluvia y viento), por factores de suelo [capacidad de intercambio catiónico (CIC), MO, pH] y por el manejo del fertilizante (fuente, dosis y forma de aplicación) (Hargrove, 1988).

Las pérdidas de NH<sub>3</sub> por volatilización se pueden determinar en forma directa o indirecta. El método directo utiliza equipos de diversas formas y dimensiones para atrapar el NH<sub>3</sub> liberado del suelo mediante sistemas absorbentes ubicados en el interior de colectores (Lara y Trivelin, 1990). El colector semiabierto estático es el más conveniente para estudios en campo ya que posee una abertura permanente que posibilita el equilibrio de la atmósfera interna del colector con el aire exterior, minimizando así interferencias en la determinación (Nömmik, 1973). El método indirecto o de balance isotópico utiliza N marcado (<sup>15</sup>N) y consiste en determinar el NH<sub>3</sub> volatilizado a partir de la diferencia entre el N aplicado y el N residual del suelo, teniendo en

- <sup>1</sup> Extensionista de la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia.
- <sup>2</sup> Asistente de Investigación. Centro Nacional de Investigaciones de Café (Cenicafé). Chinchiná, Colombia.
- <sup>3</sup> Investigador Científico II, Centro Nacional de Investigaciones de Café (Cenicafé). Chinchiná, Colombia.

cuenta el N absorbido por la planta (Nömmik, 1973).

Se considera que las pérdidas por volatilización del N proveniente de la urea son importantes en el cultivo del café. Sin embargo, en Colombia no se había conducido experimentación de campo para cuantificar la magnitud de estas pérdidas. El objetivo de este estudio fue el de cuantificar las pérdidas de N provenientes de la aplicación superficial de urea en plantaciones de café en etapa productiva.

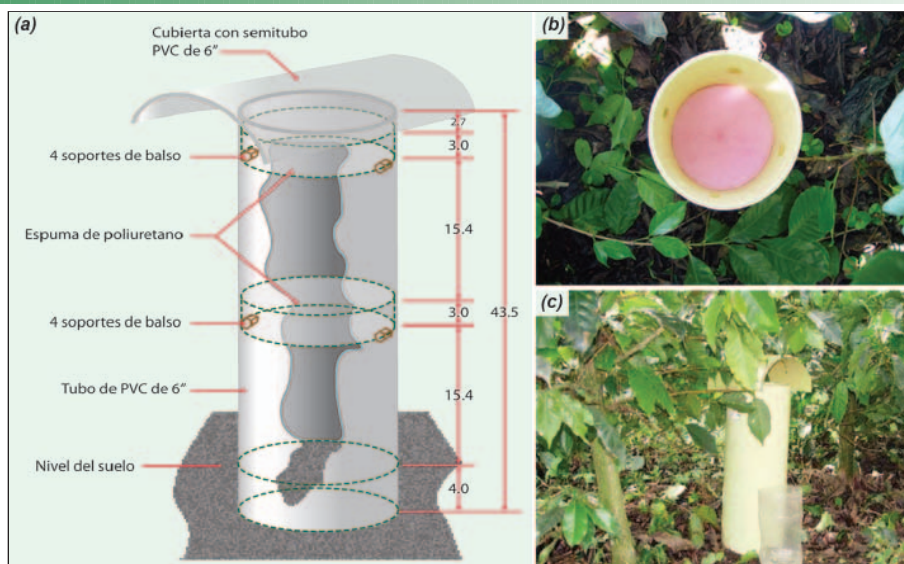
### Materiales y métodos

Este estudio se condujo en el primer semestre del año 2006 en dos estaciones experimentales del Centro Nacional de Investigaciones de Café (Cenicafé): Estación Central Naranjal y Subestación Experimental Paraguaicito, ubicadas en los departamentos de Caldas y Quindío, respectivamente. Las condiciones climáticas de los dos sitios se presentan en la **Tabla 1**. Los suelos de los sitios están clasificados como *Melanudands* y *Hapludands*, respectivamente. Las características físicas y químicas de los suelos utilizados en el estudio se presentan en la **Tabla 2**.

En cada localidad, se seleccionó un lote de café a libre exposición solar con adecuado manejo, en etapa productiva (tres años de edad) y que había sido sembrado con la variedad Colombia a una densidad de 6 700 plantas ha<sup>-1</sup>. Dentro de cada lote se ubicaron 10 bloques, cada uno conformado por dos árboles contiguos. En cada árbol se ubicó una unidad de observación en la zona del plato, a 30 cm del tallo, para cuantificar la volatilización de NH<sub>3</sub>. Una de las unidades de observación se fertilizó superficialmente con 6.5 g de urea, equivalentes a 3 g de N, y la otra unidad permaneció como testigo (sin fertilización).

Cada unidad de observación consistió de un colector semiabierto estático hecho de un cilindro de PVC de 15 cm de diámetro y 44 cm de altura, en cuyo interior se colocaron dos láminas de espuma de poliuretano de 3 cm de espesor, separadas 15.4 cm entre sí (**Figura 1**). Cada lámina de espuma se embebió en 70 ml de una solución de ácido sulfúrico 0.5 N y 3 % de glicerina (v/v). La lámina inferior atrapa el NH<sub>3</sub> liberado desde el suelo, mientras que la lámina superior evita el ingreso de NH<sub>3</sub> proveniente de la atmósfera (Nömmik, 1973; Lara et al., 1999).

La volatilización del NH<sub>3</sub> se determinó a los 1, 2, 3, 5, 9, 14 y 20 días después de la aplicación de la urea. Cada día de evaluación se reemplazaron las láminas de espuma de cada cilindro y se adicionó un volumen de agua similar a la



**Figura 1. (a) Esquema del colector de NH<sub>3</sub>. (b) Colector de NH<sub>3</sub> con la lámina de espuma inferior instalada. (c) Colector de NH<sub>3</sub> instalado en el campo.**

precipitación recogida en recipientes aledaños. La lámina inferior se llevó al laboratorio para determinar la cantidad de NH<sub>3</sub> volatilizado. Se utilizó un diseño de bloques completos al azar, con 10 repeticiones y se empleó como factor de bloqueo el grado de fertilidad del suelo, determinado por la posición del terreno en la pendiente.

Como información complementaria se recolectaron los registros diarios de temperatura media del aire y precipitación durante todo el periodo de evaluación en las dos estaciones climáticas de Cenicafé ubicadas cerca de los sitios de evaluación. Estas variables climáticas afectan la humedad del suelo y pueden afectar las pérdidas de NH<sub>3</sub> de la urea aplicada a la superficie del suelo.

### Resultados y discusión

Los promedios de las pérdidas por volatilización de NH<sub>3</sub> ocurridas a través del tiempo en los dos sitios de evaluación se presentan en la **Tabla 3**. En los dos sitios y durante todos los días de evaluación, las pérdidas de N ocurridas en el tratamiento de aplicación superficial de urea fueron mayores y significativamente diferentes del testigo sin N.

Cuando no se aplicó urea, las pérdidas diarias de NH<sub>3</sub> fueron muy bajas y relativamente constantes a través de tiempo. Las pérdidas en Paraguaicito fueron más altas (0.87 - 0.95 mg de N) que las de Naranjal (0.40 - 0.61 mg de N). Estas pérdidas se encuentran dentro de los rangos reportados por la literatura para tratamientos similares (Barbieri y Echeverría, 2003; Sangoi et al., 2003) y pudieron provenir de formas de N que se liberan del suelo por la actividad microbiana (Havlin et al., 1999).

El comportamiento de la volatilización de N en los tratamientos con aplicación de urea fue similar en las dos localidades, con pérdidas muy bajas en el primer día y un incremento notable en el segundo día, pasando de 22.0 a 257.7 mg de N en Naranjal y de 13.4 a 279.6 mg

**Tabla 1. Condiciones climáticas de los sitios del estudio (Cenicafé, 2005).**

Sitio	Altitud m	Temperatura °C	Humedad relativa %	Brillo solar h año <sup>-1</sup>	Precipitación mm año <sup>-1</sup>
Naranjal	1381	21.3	73.1	1797	2711
Paraguaicito	1203	21.9	77.0	1720	2149

**Tabla 2. Principales propiedades físicas y químicas de los suelos del estudio.**

Sitio	Arena	Limo	Arcilla	MO	pH	CIC cmol <sub>+</sub> kg <sup>-1</sup>
	----- % -----					
Naranjal	49	32	19	11.3	4.8	23
Paraguaicito	54	27	19	7.1	5.2	13

**Tabla 3. Promedios de las pérdidas de N por volatilización en los dos sitios de evaluación.**

Sitio	Tratamiento	----- Días después de la aplicación -----						
		1	2	3	5	9	14	20
		----- mg -----						
Naranjal	- urea	0.60	0.61	0.59	0.55	0.57	0.42	0.40
	+ urea	22.0	257.7	199.9	205.1	119.6	64.0	43.9
Paraguaicito	- urea	0.89	0.87	0.86	0.87	0.88	0.95	0.86
	+ urea	13.4	279.6	260.7	263.3	126.5	68.1	33.9

en Paraguaicito (**Tabla 3**). Las pérdidas ocurridas entre el tercero y quinto día presentaron un leve descenso en Naranjal, pero fueron similares al segundo día en Paraguaicito. A partir del quinto día el porcentaje de N volatilizado se redujo gradualmente hasta llegar a los niveles más bajos en el día 20.

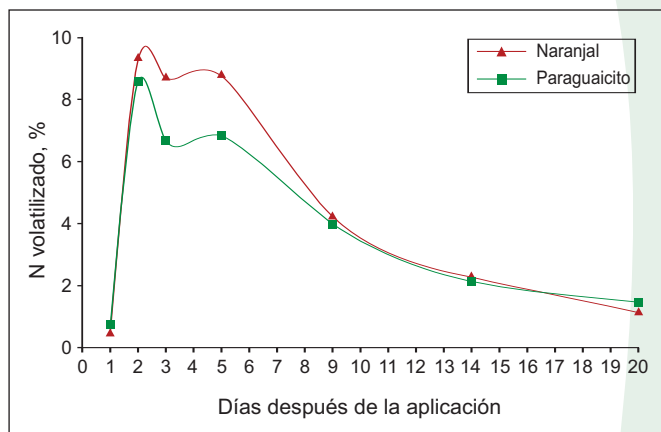
Las elevadas pérdidas de N durante los primeros días se deben a la rápida disolución e hidrólisis de la urea, procesos que producen un aumento del pH alrededor del gránulo y que facilitan la formación de NH<sub>3</sub> a partir del amonio (NH<sub>4</sub>) producto de la primera reacción de la urea (Kiehl, 1989; Vitti et al., 2002).

Al expresar los resultados de las pérdidas diarias de N como porcentaje del total de N aplicado se observa que el comportamiento de la volatilización fue similar en las

dos localidades (**Figura 2**). Las altas pérdidas del segundo día equivalen al 8.6 y 9.3 % para Naranjal y Paraguaicito, respectivamente. Las pérdidas ocurridas del tercero al quinto día en Naranjal sufrieron un ligero descenso, mientras que en Paraguaicito las pérdidas fueron similares a las del segundo día.

Las pérdidas acumuladas de N se presentan en la **Figura 3**. Al finalizar el periodo de evaluación la volatilización total en Naranjal fue de 30 % del total del N aplicado, menor que la de Paraguaicito que fue 35 %. La volatilización durante los primeros 5 días de evaluación fue muy alta alcanzando 23 % en Naranjal y 27 % en Paraguaicito. Estas pérdidas de N son similares a las reportadas para plantaciones de caña de azúcar en Brasil con valores que fluctuaron entre 35 y 36 % del N aplicado (Costa et al., 2003).

En la **Figura 3** también se presentan los datos de volatilización acumulada calculados por el modelo de regresión de mejor ajuste con los datos obtenidos en los dos sitios. La información obtenida en los dos sitios indica que a los 20 días se reduce casi totalmente la volatilización del NH<sub>3</sub> proveniente de la urea. Si se asume entonces que la pérdida a los 20 días representa el 100 % del total de N perdido por volatilización, los datos obtenidos indican que a los 10 días después de aplicada la urea se ha perdido aproximadamente 96 % del total del N volatilizado. Esto indica que las pérdidas por volatilización ocurren en un corto periodo de tiempo y que las medidas para control de estas pérdidas deben ajustarse a estas condiciones.



**Figura 2. Promedio de pérdida diaria de N a través del tiempo en los dos sitios de evaluación.**

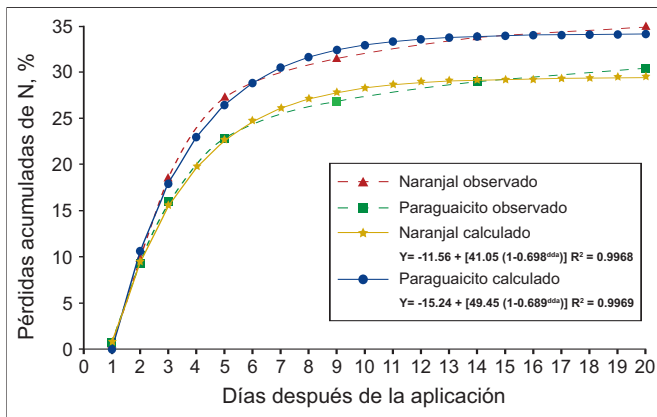


Figura 3. Promedio de pérdidas acumuladas de N y curvas de regresión ajustadas para los datos de los dos sitios de evaluación.

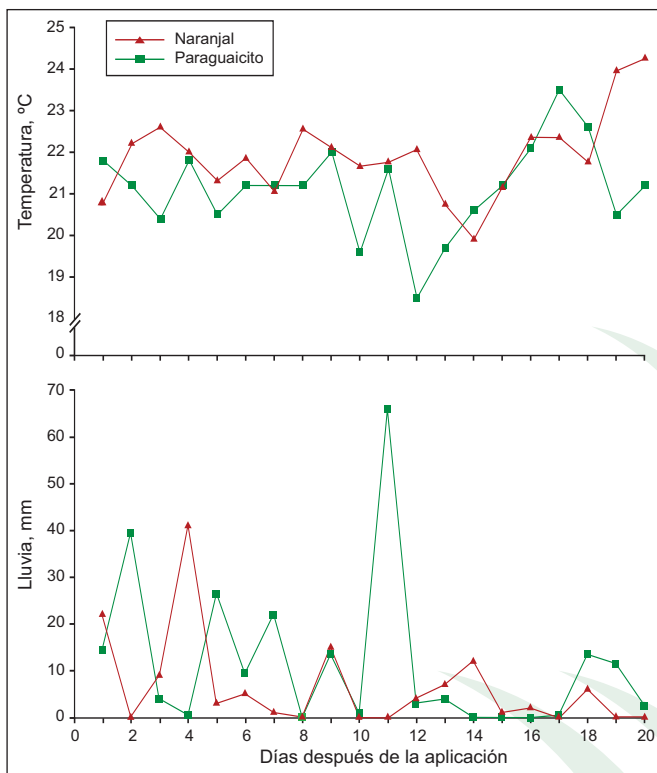


Figura 4. Temperatura media del aire y precipitación diaria registrada en las Estaciones Experimentales Naranjal (Marzo 14 - Abril 02, 2006) y Paraguaicito (Abril 27 - Mayo 16, 2006).

La diferencia en la magnitud de las pérdidas de N por volatilización entre los dos sitios estudiados fue de 5 %, siendo más alta en Paraguaicito. Esta diferencia está asociada con las características de suelo y clima de los sitios donde se condujo el estudio.

El suelo es uno de los factores que más influye en el proceso de volatilización. Características como el contenido de MO, CIC, textura y pH afectan la magnitud de la volatilización. Los suelos con alta CIC y mayor contenido de MO poseen mayor capacidad de retener el  $NH_4^+$  liberado por las reacciones de hidrólisis de la urea y esto reduce la volatilización (Fenn y Kissel, 1976; Fleisher et al., 1987). Los resultados obtenidos sugieren que algo similar ocurre en los sitios del estudio. En

Naranjal las pérdidas fueron menores debido al mayor contenido de MO y una mayor CIC en comparación con Paraguaicito. Las diferencias en pH y textura entre los dos sitios no son suficientes como para explicar la diferencia en volatilización de  $NH_3$  observada.

Se ha documentado en cafetales de Colombia que la temperatura del aire hasta 2 m de altura tiene alta correlación con la temperatura del suelo en los primeros 10 cm de profundidad (Jaramillo, 2005). Esta condición es a su vez influenciada por otros elementos meteorológicos como radiación solar, viento, evaporación, condensación, lluvia y por factores del suelo como labranza, MO, textura y humedad. Como se observa en la Figura 4, el comportamiento de la temperatura media registrada durante los 20 días de evaluación fue diferente entre las dos localidades. En general, la menor temperatura media en Naranjal durante todo el periodo de estudio podría asociarse con la menor magnitud en las pérdidas de N por volatilización. Las pérdidas de N por esta vía son mayores a medida que aumenta la temperatura ya que se incrementa la actividad microbiana del suelo, particularmente de los microorganismos que generan la enzima ureasa (Ernst y Massey, 1960; Hargrove, 1988).

En la Figura 4 se presenta el comportamiento de la precipitación diaria durante el periodo de estudio en ambas localidades. La precipitación total durante los 20 días de evaluación en Naranjal fue de 252 mm, mientras que en Paraguaicito solo llegó a 128 mm. La menor cantidad de N volatilizado en Naranjal puede relacionarse con la mayor cantidad de lluvia acumulada durante los primeros 5 días de evaluación, periodo en el cual ocurrió la mayor pérdida en los dos sitios. La lluvia disminuye las pérdidas de N por volatilización porque diluye, alrededor del gránulo del fertilizante, la concentración de hidroxilos ( $OH^-$ ) producidos durante la hidrólisis de la urea y además incorpora el fertilizante en el suelo (Lara et al., 1997).

**Conclusión**

Los datos de este estudio demuestran que las pérdidas de N proveniente de la urea aplicada a la superficie del suelo son significativas y que ocurren en un periodo corto de tiempo. El efecto combinado de suelo y clima influye en la cantidad total de pérdida, pero en cualquier situación las pérdidas de N por volatilización en los cafetales son importantes. Es necesario ajustar las formas de manejo de los fertilizantes para eliminar o minimizar este tipo de pérdidas.

**Agradecimientos**

Los autores expresan su agradecimiento a Cenicafé y a todas aquellas personas que colaboraron durante la realización de este trabajo.

Continúa en la pág. No. 10

# RESERVAS MUNDIALES DE NUTRIENTES PARA FERTILIZANTES<sup>1</sup>

Paul E. Fixen<sup>2</sup>

La administración responsable de la agricultura incluye el uso racional de las materias primas con las que se producen los fertilizantes comerciales. La estrategia de desarrollar e implementar las Mejores Prácticas de Manejo (MPM) para fertilizantes, enfocada fundamentalmente en la utilización de fuentes correctas, en dosis, épocas y localización correctas es importante no solamente por razones económicas y ambientales de corto plazo, sino también para la adecuada administración de las materias primas de fertilizantes provenientes de recursos no renovables, de las cuales depende la producción de alimentos, fibra y combustible a largo plazo.

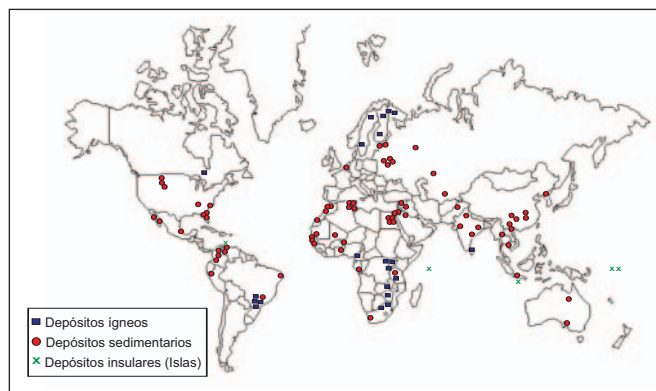
El abrupto incremento en los precios de los fertilizantes portadores de nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K) y azufre (S) a mediados del año 2008 causó mucha alarma alrededor del mundo. Ciertos sectores conjeturaron que las reservas de nutrientes estaban alcanzando niveles críticamente bajos y que esta situación estaba contribuyendo a la volatilidad del mercado. Este artículo intenta revisar el estado de las reservas mundiales de materias primas para fertilizantes, en términos de la producción actual.

## Fosfatos

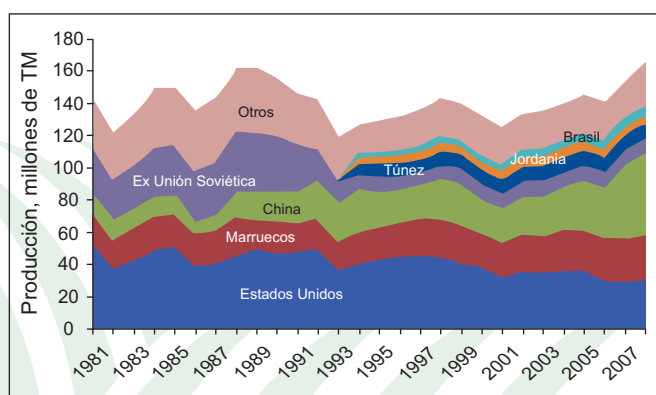
La principal materia prima usada en la producción de casi todos los fosfatos es la Roca Fosfórica (RF). Existen dos tipos generales de RF, el de origen ígneo y el de origen sedimentario. Los depósitos insulares son un tipo especial de depósitos sedimentarios. La **Figura 1** muestra un mapa de los depósitos de RF que están al momento en explotación, aquellos que han dejado de explotarse en el pasado reciente y aquellos que han mostrado tener un potencial económico (McClellan y Van Kauwenbergh, 2004). Estos depósitos están ampliamente distribuidos en el mundo.

El P de las RF ígneas está en la apatita y otros minerales ígneos. Los depósitos ígneos a menudo tienen minerales de baja concentración de P, pero se pueden beneficiar y lograr concentraciones del 36 al 40 % de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (Stewart et al., 2005). Los minerales de los depósitos ígneos son poco reactivos y en consecuencia no son apropiados para aplicación directa a los cultivos y normalmente se muelen finamente para usarse en la fabricación de fertilizantes.

Alrededor del 80 % de la RF explotada en el mundo proviene de depósitos sedimentarios. Estos depósitos tienen amplias variaciones en sus propiedades físicas y químicas, encontrándose desde materiales sueltos no



**Figura 1. Depósitos económicos y potencialmente económicos de fosfato en el mundo**



**Figura 2. Producción mundial de roca fosfórica, 1981-2008.**

consolidados a rocas duras y fluoro-apatita que va desde materiales casi sin sustitución de carbonato por fosfato en la estructura del mineral a materiales con 6 a 7 % de sustitución (Stewart et al, 2005).

En general, la producción mundial de RF ha sido estable desde 1981 y está en un rango de 120 a 165 millones de Toneladas Métricas (TM) por año (**Figura 2**). Sin embargo, la ruptura de la Unión Soviética causó una significativa interrupción en la producción de fosfato resultando en una importante reducción al inicio de la década de 1990. La producción mundial se ha recuperado a niveles anteriores sobrepasando las 160 millones de TM. China ha sido la mayor fuente del incremento en los últimos 20 años.

La determinación de las reservas de RF está llena de dudas e incertidumbres por la limitada información disponible, lo que no asegura la certeza de las estimaciones. A menudo, los productores de fosfato consideran que esta información es confidencial, dejando como las principales fuentes de información solamente la información pública

<sup>1</sup> Tomado de: Fixen, P. 2009. World fertilizer nutrient reserves. In F. García (ed.) Simposio de Fertilidad del Suelo 2009. IPNI-Cono Sur, Rosario, Argentina.

<sup>2</sup> Vicepresidente del International Plant Nutrition Institute (IPNI). Correo electrónico: pfixen@ipni.net.

de trabajos científicos y reportes específicos de ciertos depósitos. Por lo tanto, la información sobre las reservas presentadas en este artículo es una aproximación general con amplios intervalos de confianza.

La **Tabla 1** contiene las estimaciones actuales de las reservas mundiales de RF clasificadas por tonelaje de la reserva base. Los términos reserva y reserva base se definen a continuación [U.S. Geological Survey (USGS, 2009)]: “Reservas - aquella parte de la reserva base que puede ser económicamente extraída o producida al momento de la determinación. El término reservas no necesariamente significa que las instalaciones de extracción estén en el sitio y trabajando. Reserva base - incluye los recursos que al momento son económicos (reservas), recursos económicamente marginales y algunos que al momento son sub-económicos”. Sin embargo, comunicaciones personales directas con el USGS permitieron establecer que las estimaciones de las reservas actuales se basan en las condiciones de mercado de hace dos años y en consecuencia no reflejan los precios del 2008. Por lo tanto, la porción de las reservas base reportadas como reservas pueden haberse subestimado.

Marruecos – Sahara Occidental tiene las mayores reservas base y reservas de RF del mundo, con el 45 % de las reservas base del mundo (**Tabla 1**). Luego se

encuentra China con el 21 % de las reservas. Estos dos países tienen los dos tercios de las reservas de RF del mundo. La **Tabla 1** también contiene evaluaciones de la duración estimada de las reservas y de las reservas base de RF calculadas teniendo en cuenta la producción promedio de los años 2007 y 2008. A estos niveles de producción, se calcula que la duración de las reservas y las reservas base mundiales de RF son de 93 y 291 años, respectivamente.

En este punto es importante recordar los comentarios anteriores de este artículo sobre la confiabilidad de las estimaciones de las reservas de RF. Dos ejemplos para demostrar este hecho. Primer ejemplo, en el año 2002 el USGS estimó que las reservas y las reservas base mundiales de RF eran de 12 990 y 46 990 millones de TM, respectivamente (Stewart et al, 2005). Las estimaciones para el año 2009 discutidas arriba representan el 122 y 100 % de las estimaciones anteriores, aun cuando han transcurrido 7 años adicionales de producción. Segundo ejemplo, Sheldon (1987) reportó que las reservas mundiales de RF eran de 15 259 millones de TM (casi el mismo estimado actual) e identificó los recursos (reserva base más la reserva base inferida) como 112 431 millones de TM. Con estos recursos y basándose en la producción actual, la duración de los recursos sería de 696 años.

**Tabla 1. Producción, reservas y reservas base de las minas de fosfato (USGS, 2009c).**

	----- Producción de las minas <sup>1</sup> -----		Reservas <sup>3</sup>	Reservas base <sup>4</sup>	Duración de la reserva <sup>5</sup>	Duración de la reserva base
	2007	2008 <sup>2</sup>				
	----- Millones de toneladas métricas -----		----- Años -----			
Marruecos – Sahara Occidental	27.00	28.00	5 700	21 000	207	764
China	45.40	50.00	4 100	10 000	86	210
Estados Unidos	29.70	30.90	1 200	3 400	40	112
Sudáfrica	2.56	2.40	1 500	2 500	605	1 008
Jordania	5.54	5.50	900	1 700	163	308
Australia	2.20	2.30	82	1 200	36	533
Rusia	11.00	11.00	200	1 000	18	91
Israel	3.10	3.10	180	800	58	258
Siria	3.70	3.70	100	800	27	216
Egipto	2.20	3.00	100	760	38	292
Túnez	7.80	7.80	100	600	13	77
Brasil	6.00	6.00	260	370	43	62
Canadá	0.70	0.80	25	200	33	267
Senegal	0.60	0.60	50	160	83	267
Togo	0.80	0.80	30	60	38	75
Otros países	8.11	10.80	890	2 200	94	233
<b>Total mundial</b>	<b>156</b>	<b>167</b>	<b>15 000</b>	<b>47 000</b>	<b>93</b>	<b>291</b>

<sup>1</sup> El contenido de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> varía de 23 a 39 % de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, con un promedio de 32 % en el 2007. La roca de Estados Unidos promedia 29 %.

<sup>2</sup> Estimado.

<sup>3</sup> Las reservas pueden ser minadas económicamente en el momento de

determinación.

<sup>4</sup> Las reservas base incluyen algunas fuentes económicas, fuentes económicamente marginales y algunas actualmente sub-económicas.

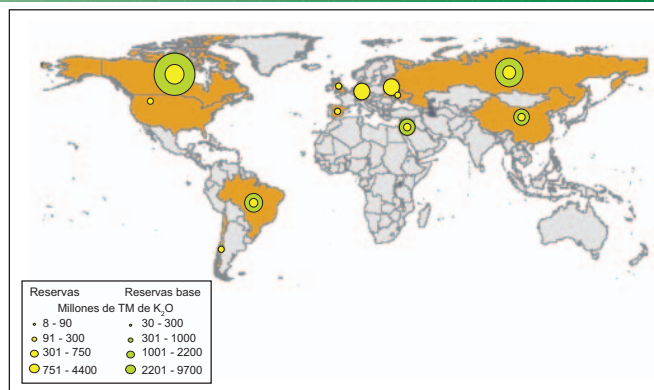
<sup>5</sup> Duración basada en la producción 2007-2008.

Es claro que existe mucha incertidumbre en las estimaciones actuales, pero también es cierto que el mundo no está en riesgo de quedarse sin materia prima para la producción de fertilizantes fosfatados. Sin embargo, éstos son recursos naturales no renovables que deben tener el mejor manejo posible.

**Potasa**

El término potasa se refiere a una variedad de minerales que contienen K, siendo los más comunes la silvita (KCl), silvinita (KCl+NaCl), hartsalz (depósitos minerales con sales de sulfato) y langbeinita (K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>•2MgSO<sub>4</sub>). Los depósitos económicos de potasa se encuentran en camas de sales sedimentarias remanentes de antiguos océanos interiores (depósitos de evaporación) o lagos salados y salmueras naturales. La **Figura 3** presenta la localización de las reservas y reservas base de potasa. Las reservas más grandes se encuentran en Saskatchewan, Canadá, donde el mineral tiene altas concentraciones de K<sub>2</sub>O (25 - 30 %) y se encuentra a profundidades de 1 000 a 3 500 m. Estos depósitos son en su mayoría silvinita con algo de carnalita (KCl•MgCl<sub>2</sub>•6H<sub>2</sub>O) y arcilla.

La producción, reservas, reservas base y la duración de las reservas de potasa por país, basándose en los datos de USGS, se presentan en la **Tabla 2**. Canadá tiene el 53 % de las reservas del mundo mientras que en conjunto Canadá, Rusia, Bielorrusia y Alemania tienen el 92 %. Las reservas mundiales de potasa son inmensas, con una expectativa de duración de 235 años, basándose



**Figura 3. Reservas y reservas base de potasa.**

en la producción actual, y una reserva base que excede los 500 años.

Se espera que se añadan alrededor de un millón de TM de K<sub>2</sub>O por año de nueva capacidad de producción desde el año 2009 al 2011, la mayoría en Canadá, Rusia e Israel, con algún aporte de Jordania y los Estados Unidos. Se espera un aporte adicional de 5 millones de TM en el año 2012 en Canadá, Argentina, Bielorrusia y Jordania (Prud'homme, 2008). El aporte de nueva producción hasta el año 2012 será de aproximadamente 8 millones de TM.

**Azufre**

El azufre (S) es uno de los constituyentes más comunes en la corteza terrestre. Según las estimaciones del USGS, los recursos de S elemental en depósitos

**Tabla 2. Producción de las minas de potasa, reservas y reservas base (USGS, 2009d).**

	----- Producción de las minas -----			Reservas base <sup>3</sup>	Duración de la reserva <sup>4</sup>	Duración de la reserva base <sup>4</sup>
	2007	2008 <sup>1</sup>	Reservas <sup>2</sup>			
	----- Millones de toneladas métricas de K <sub>2</sub> O -----			----- Años -----		
Canadá	11.10	11.00	4 400	11 000	398	995
Rusia	6.60	6.90	1 800	2 200	267	326
Bielorrusia	4.97	5.10	750	1 000	149	199
Alemania	3.60	3.60	710	850	197	236
Brasil	0.41	0.43	300	600	719	1 437
Israel	2.20	2.40	40	580	17	252
Jordania	1.09	1.20	40	580	35	507
China	2.00	2.10	8	450	4	220
Estados Unidos	1.10	1.20	90	300	78	261
Chile	0.50	0.58	10	50	19	93
España	0.58	0.59	20	35	34	60
Ucrania	0.01	0.01	25	30	2 083	2 500
Reino Unido	0.43	0.48	22	30	49	66
Otros países			50	140		
<b>Total mundial</b>	<b>35</b>	<b>36</b>	<b>8 300</b>	<b>18 000</b>	<b>235</b>	<b>510</b>

<sup>1</sup> Estimado.

<sup>2</sup> Las reservas pueden ser minadas económicamente en el momento de determinación.

<sup>3</sup> Las reservas base incluyen algunas fuentes económicas, fuentes económicamente marginales y algunas actualmente sub-económicas.

<sup>4</sup> Duración basada en la producción 2007-2008.

**Tabla 3. Producción de azufre y yeso (USGS, 2009a; USGS, 2009e).**

País	----- Producción de azufre -----		País	----- Producción de yeso -----	
	2007	2008 <sup>1</sup>		2007	2008 <sup>1</sup>
	-- Millones de toneladas métricas --			-- Millones de toneladas métricas --	
Estados Unidos	9.09	9.09	China	37.0	40.7
Canadá	8.97	8.80	Estados Unidos	17.9	12.7
China	8.46	8.50	Irán	12.0	12.0
Rusia	7.05	7.10	España	11.5	11.3
Japón	3.20	3.20	Tailandia	8.6	8.8
Arabia Saudita	3.10	3.20	Canadá	7.7	7.3
Kazajstán	2.60	2.60	México	6.1	5.8
Alemania	2.30	2.50	Japón	5.9	5.7
Emiratos Arabes Unidos	1.95	2.00	Italia	5.5	5.5
México	1.77	1.80	Francia	4.8	4.7
Corea	1.69	1.70	Australia	4.2	4.1
Chile	1.57	1.60	India	2.5	2.8
Irán	1.57	1.60	Rusia	2.3	2.4
Francia	1.31	1.30	Egipto	2.0	2.0
Polonia	1.32	1.30	Brasil	1.8	1.7
India	1.15	1.20	Alemania	1.8	1.7
Australia	0.95	0.95	Polonia	1.6	1.7
Venezuela	0.80	0.80	Reino Unido	1.7	1.7
Italia	0.74	0.74	Argelia	1.1	1.3
Kuwait	0.70	0.70	Uruguay	1.2	1.1
Sudáfrica	0.64	0.65	Austria	1.0	1.0
Finlandia	0.61	0.61			
España	0.60	0.60			
Holanda	0.53	0.53			
Uzbekistán	0.52	0.52			
Otros países	5.23	5.20	Otros países	15.3	14.9
<b>Total mundial</b>	<b>68</b>	<b>69</b>	<b>Total mundial</b>	<b>154</b>	<b>151</b>

<sup>1</sup> Estimado.

minerales sedimentarios y volcánicos y asociados al gas natural, petróleo, alquitrán y sulfitos metálicos son de alrededor de 5 billones de TM. El S en el yeso y la anidrita es casi ilimitado y existen alrededor de 600 billones de TM de S en el carbón, pizarra bituminosa y pizarra rica en materia orgánica, pero todavía no se desarrollan métodos de bajo costo para recuperar el S de estas fuentes (USGS, 2009e). En general, el S no se obtiene intencionalmente como un producto principal. La mayoría del S disponible en el mercado mundial se extrae del gas natural y del petróleo ya que el petróleo crudo contiene de 0.1 a 2.8 % de S (IFDC, 2008). También se puede recuperar algo de S del carbón, del proceso metalúrgico de los sulfitos y del minado de piritas.

Entre el 80 y 85 % de la producción mundial de S se usa para elaborar ácido sulfúrico. La mitad de la producción mundial de ácido sulfúrico se utiliza en la producción de fertilizantes, principalmente para convertir fosfatos insolubles a formas solubles en agua. Se necesita

alrededor de una tonelada de S para producir un poco más de 2 toneladas de fosfato diamónico (DAP) (IFDC, 2008).

Los principales países productores de S son Estados Unidos, Canadá, China y Rusia (**Tabla 3**). Estos cuatro países producen casi la mitad del S del mundo. Debido a que el petróleo y los sulfitos minerales pueden procesarse a grandes distancias del sitio donde son extraídos, el USGS señala que la producción actual de S no está relacionada con el país al cual se le atribuyen las reservas. Esta es una de las razones por las cuales los datos de las reservas y reservas base de S no se reportan por país. En la **Tabla 3** también se presenta la producción de yeso (CaSO<sub>4</sub>•2H<sub>2</sub>O) por país, debido a que una pequeña cantidad de este producto se usa con propósitos agrícolas ya sea como acondicionador de suelo o como fuente de nutrientes. Por ejemplo, en los Estados Unidos, en el año 2008, se utilizaron en agricultura un poco más de un millón de TM de los 12.7 millones de yeso producidas.

**Tabla 4. Producción de amoníaco, consumo y reservas de gas natural [USGS, 2009b (amoníaco); Anónimo, 2007 (gas)].**

----- Producción de amoníaco -----			----- Gas natural, 1/1/2008 -----			
País	2007	2008 <sup>1</sup>	País	Consumo		Reservas <sup>2</sup>
	Toneladas métricas de N ----- Millones -----			Metros cúbicos		Total
				Billones	Trillones	%
China	42.48	44.60	Rusia	610	47.57	27.2
India	11.00	11.00	Irán	112	26.84	15.3
Rusia	10.50	11.00	Qatar	21	25.63	14.6
Estados Unidos	8.84	8.24	Arabia Saudita	76	7.16	4.1
Trinidad y Tobago	5.10	5.10	Emiratos Arabes Unidos	43	6.06	3.5
Indonesia	4.40	4.40	Estados Unidos	653	5.97	3.4
Ucrania	4.20	4.20	Nigeria	13	5.21	3.0
Canadá	4.10	4.10	Venezuela	27	4.70	2.7
Alemania	2.75	2.80	Argelia	26	4.50	2.6
Arabia Saudita	2.60	2.60	Iraq	2	3.17	1.8
Pakistán	2.25	2.25	Turkmenistán	19	2.83	1.6
Irán	2.00	2.00	Kazajistán	31	2.83	1.6
Egipto	1.75	1.90	Indonesia	23	2.66	1.5
Polonia	1.90	1.90	Malasia	33	2.35	1.3
Los Países Bajos	1.80	1.80	China	71	2.27	1.3
Qatar	1.80	1.80	Noruega	7	2.24	1.3
Japón	1.09	1.36	Uzbekistán	51	1.84	1.1
Bangladesh	1.30	1.30	Egipto	32	1.67	0.9
Rumania	1.30	1.30	Canadá	93	1.64	0.9
Otros países	20.30	22.00	Otros países	1 253	17.85	10.2
<b>Total mundial</b>	<b>132</b>	<b>136</b>	<b>Total mundial</b>	<b>3 196</b>	<b>175</b>	<b>100</b>

<sup>1</sup> Estimados.  
<sup>2</sup> Reservas que pueden recuperarse con la tecnología y precios actuales.  
 Nota: La producción de una tonelada de amoníaco requiere de 1 230 metros cúbicos de gas natural.

A largo plazo, se espera que el incremento en la producción mundial de S alivie la escasez que se presentó a mediados del año 2008, cuando los precios del S se incrementaron de menos de 100 dólares por tonelada a más de 800. Este alto incremento se produjo por el pobre abastecimiento resultante de la producción más baja de S de lo esperado en los Estados Unidos, por lento desarrollo de nuevas operaciones petroleras y de gas natural y por el incremento del consumo por las operaciones de producción de fertilizantes fosfatados. Una aguda reducción de la demanda de S en Asia en el tercer trimestre del año 2008 causó la radical disminución del precio ocurrida a finales del año pasado.

### Nitrógeno

El amoníaco (NH<sub>3</sub>) es la fuente básica de nitrógeno (N) usada en la manufactura de la mayoría de los fertilizantes portadores de N. Cerca del 3 % del NH<sub>3</sub> se utiliza para aplicación directa en el campo, principalmente en América del Norte. Procesos diferentes a la fabricación de fertilizantes utilizan cerca del 16 % de la producción mundial de NH<sub>3</sub> (Abram y Foster, 2005). China, India, Rusia y los Estados Unidos son responsables de más del 50 % del total de la producción de NH<sub>3</sub>. China por si sola

es responsable de alrededor de un tercio del total de la producción (Tabla 4).

El gas natural (CH<sub>4</sub>) es la materia prima utilizada en el 75 - 80 % de la manufactura de NH<sub>3</sub> a nivel mundial (Abram y Foster, 2005). Se requieren de 1 230 metros cúbicos de gas natural para producir una tonelada de NH<sub>3</sub> (Huang, 2007). Sin embargo, la producción de NH<sub>3</sub> consume una muy baja cantidad de gas natural en la mayoría de los países. Aun asumiendo que todo el NH<sub>3</sub> se produce usando gas natural, solamente el 5 % del consumo mundial de gas natural sería utilizado para la producción de NH<sub>3</sub>. En los Estados Unidos, solamente el 1.5 % de gas natural utilizado se usa en la síntesis de NH<sub>3</sub>.

Por lo tanto, los precios del gas natural son generalmente independientes del mercado de los fertilizantes, pero están muy influenciados por el sitio donde se producen los fertilizantes. El incremento de los precios del gas natural en países desarrollados ha promovido el cambio de la producción de N a países en vías de desarrollo. Varias compañías han anunciado planes de construir nuevas plantas de NH<sub>3</sub> en Argelia, China, Libia y Perú (USGS, 2009b).

El t3pico de las reservas de fertilizantes nitrogenados, considerando el proceso de manufactura actual, es esencialmente una discusi3n de las reservas de gas natural. En la **Tabla 4** se presenta el consumo y reservas de gas clasificadas por el volumen de la reserva. Rusia, Ir3n y Qatar tienen el 57 % comprobado de las reservas mundiales de gas natural. A nivel mundial se consumen al momento alrededor de 3.2 trillones de metros c3bicos de gas por a3o y se registran 175 trillones de metros c3bicos de reservas comprobadas, que durar3an 55 a3os. Sin embargo, las reservas mundiales de gas natural tienden a incrementarse, indicando que los productores han sido capaces de continuar incrementando las reservas con el paso del tiempo (Energy Information Administration, 2008). Los incrementos m3s grandes y recientes a las estimaciones de reservas de gas natural las reportaron Venezuela y Arabia Saudita.

### Resumen

Las reservas mundiales de N, P, K y S parecen ser adecuadas para el futuro inmediato. Sin embargo, el costo de los nutrientes se incrementar3a con el paso del tiempo a medida que se consuman los materiales de m3s f3cil extracci3n. Por esta raz3n, la implementaci3n y refinamiento continuo de las mejores pr3cticas de manejo de fertilizantes permitir3a una mejor eficiencia de uso de los nutrientes. Un sabio manejo de los recursos no renovables de donde provienen los nutrientes es una responsabilidad cr3tica de todos aquellos envueltos en la producci3n agr3cola.

### Bibliograf3a

- Abram, A. and D.L. Forster. 2005. A primer on ammonia, nitrogen fertilizer, and natural gas. OSU AED Economics (AEDE-RP.0053-05). The Ohio State University.
- An3nimo, 2007. Gas and Oil Journal. On line at [www.nationalmaster.com](http://www.nationalmaster.com).
- Energy Information Administration. 2008. Natural gas. In International Energy Outlook. On line at [www.eia.doe.gov/oiaf](http://www.eia.doe.gov/oiaf).
- Huang, W. 2007. Impact of rising natural gas prices on U.S. ammonia supply. USDA-ERS, August, 2007.
- IFDC. 2008. Focus on fertilizers and food security. Issue 4; July 15. On line at [www.ifdc.org](http://www.ifdc.org).
- McClellan, G.H. y S.J. Van Kauwenbergh. 2004. World phosphate deposits. In Use of Phosphate Rocks for Sustainable Agriculture. FAO Land and Water Development Division and the International Atomic Energy Agency, Rome.
- Prud'homme, M. 2008. Global fertilizer and raw materials supply and supply/demand balances 2008-2012. IFA Production and Trade. Paris, France.
- Sheldon, R.P. 1987. Industrial minerals – with emphasis on phosphates rock. P. 347-361. In D.J. McLaren and B.J. Skinner (ed.). Resources and World Development. John Wiley & Sons, New York.
- Stewart, W.M., L.H. Lawrence, and S.J. Van Kauwenbergh. 2005. Phosphorus as a natural resource. In Phosphorus: Agriculture and the Environmental, Agronomy Monograph No. 46. ASA-CSSA-SSSS, Madison, WI.
- USGS. 2009a. Gypsum. U.S. Geological Survey, Mineral commodity summaries. On line at <http://minerals.er.usgs.gov>.
- USGS. 2009b. Nitrogen (Fixed) – Ammonia. U.S. Geological Survey, Mineral commodity summaries. On line at <http://minerals.er.usgs.gov>.
- USGS. 2009c. Phosphate Rock. U.S. Geological Survey, Mineral commodity summaries. On line at <http://minerals.er.usgs.gov>.
- USGS. 2009d. Potash. U.S. Geological Survey, Mineral commodity summaries. On line at <http://minerals.er.usgs.gov>.
- USGS. 2009e. Sulfur. U.S. Geological Survey, Mineral commodity summaries. On line at <http://minerals.er.usgs.gov>. ★

## P3rdidas de nitr3geno por volatilizaci3n ...

### Bibliograf3a

- Barbieri, P.A. y H.E. Echeverr3a. 2003. Evoluci3n de las p3rdidas de amon3aco desde urea aplicada en oto3o y primavera a una pastura de agropiro alargado (*Thinopyrum ponticum*). Revista de Investigaciones Agropecuarias 32:17-27.
- Centro Nacional de Investigaciones de Caf3 - Cenicafe. 2005. Archivo de informaci3n clim3tica, Cenicafe, Disciplina de Agroclimatolog3a. 552 p.
- Costa, G., C. Vitti, H. Cantarella. 2003. Volatilizaci3n de N-NH<sub>3</sub> de fontes nitrogenadas em cana-de-a3ucar colhida sem despalha a fogo. Revista Brasileira de Ci3ncia do Solo 27:631-637.
- Ernst, J.W. and H.F. Massey. 1960. The effects of several factors on volatilization of ammonium formed from urea in soil. Soil Science Society of America Journal 24:87-90.
- Fenn, L.B. and D.E. Kissel. 1976. The influence of cation exchange capacity and depth of incorporation on ammonia volatilization ammonium compounds applied to calcareous soils. Soil Science Society of America Journal 40:394-397.
- Fleisher, Z., A. Kenig, I. Ravina, and J. Hagin. 1987. Model of ammonia volatilization from calcareous soils. Plant and Soil 103:205-212.
- Hargrove, W.L. 1988. Soil environmental and management factors influencing ammonia volatilization under field conditions. In: Bock, B., and D. Kissel (eds). Ammonia volatilization from urea fertilizers. Alabama, National Fertilizer Development Center, p. 17-37.
- Havlin, J.L., D.J. Beaton, S.L. Tisdale, and W.L. Nelson. 1999. Soil Fertility and fertilizers. An introduction to nutrient management. Upper Saddle, Prentice Hall, 1999.
- Jaramillo, A. 2005. Clima andino y caf3 en Colombia. Chinchin3, Centro Nacional de Investigaciones de Caf3 - Cenicafe. 192 p.
- Kiehl, C.J. 1989. Distribu3o e reten3o da am3nia no solo ap3s aplicaci3o de ur3a. Revista Brasileira de Ci3ncia do Solo 48:75-80.
- Lara, A., G. Kornd3rfer, e A. Motta. 1997. Volatilizaci3n de N-NH<sub>3</sub> na cultura de milho: I. Efeito da irriga3o e substitu3o parcial da ur3a por sulfato de am3nio. Revista Brasileira de Ci3ncia do Solo 21:481-487.
- Lara, A., e P. Trivelin. 1990. Efici3ncia de um coletor semi-aberto est3tico na quantifica3o de N-NH<sub>3</sub> volatilizado da ur3a aplicaci3o ao solo. Revista Brasileira de Ci3ncia do Solo 14:345-352.
- Lara, A., P. Trivelin, J. Bendassolli, D. Santana, and G. Gascho. 1999. Calibration of a semi-open static collector for determination of ammonia volatilization from nitrogen fertilizers. Communications in Soil Science and Plant Analysis 30:389-406.
- N3mmik, H. 1973. The effect of pellet size on the ammonia loss from urea applied to forest soil. Plant and Soil 39:309-318.
- Sadeghian, K.S. 2008. Fertilidad del suelo y nutrici3n del caf3 en Colombia: Gu3a Pr3ctica. Bolet3n T3cnico Cenicafe 32:1-43.
- Sadeghian, K.S. 2009. Calibraci3n de an3lisis de suelo para N, P, K y Mg en cafetales al sol y bajo semisombra. Cenicafe 60(1):7-24.
- Sangoi, L., P. Ernani, V. Lech, G., and G. Rampazzo. 2003. Volatilization of N-NH<sub>3</sub> influenced by urea application forms, residue management and soil type in lab conditions. Ciencia Rural 33:687-692.
- Vitti, G.C., J.E. Tavares Junior, P.H. Luz, J.L. Favarin, e M.C. Costa. 2002. Influ3ncia da mistura de sulfato de am3nio com ur3a sobre a volatiliza3o de nitrog3nio amoniacal. Revista Brasileira de Ci3ncia do Solo 26:663-671. ★

## RESINA DE INTERCAMBIO IONICO PARA DETERMINAR LA DISPONIBILIDAD DE FOSFORO EN EL SUELO

B. van Raij, H. Cantarella, J.A Quaggio y L.I. Prochnow\*

El fósforo (P) ha recibido considerable atención dentro de la investigación sobre métodos de análisis de suelos, a pesar de esto, todavía no se llega a un acuerdo sobre cual sería la mejor metodología para determinar la disponibilidad de este nutriente. La utilización de la resina de intercambio parece ser un excelente procedimiento, sin embargo, se lo ha aceptado en forma limitada como método de análisis de rutina en los laboratorios de suelos alrededor del mundo.

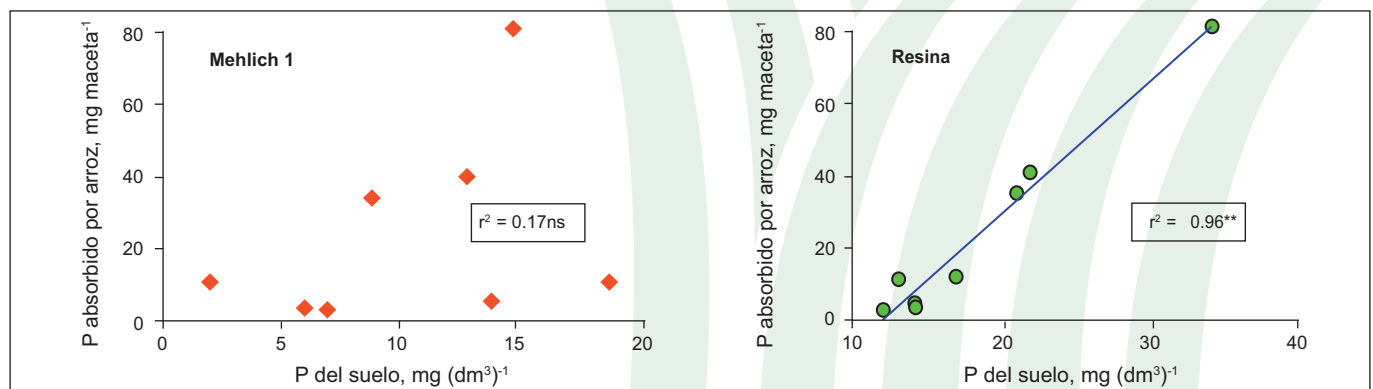
Cuando existen varios métodos que reportan contenidos diferentes de P en las mismas muestras de suelo es necesario determinar que procedimiento es el mejor. Para lograr esto se conducen experimentos de invernadero que permiten establecer que método correlaciona más estrechamente el contenido de P en el suelo con la absorción de P por la planta. Estos experimentos, conducidos en macetas, utilizan suelos que tengan un amplio rango de las características que afectan las reacciones de P. Las macetas se siembran con una planta indicadora a la cual se suministran todos los nutrientes con excepción de P. El grado de correlación entre la cantidad de P absorbido por la planta indicadora y el contenido de P en el suelo determinado por cada método permite decidir que procedimiento predice mejor la disponibilidad de P en el suelo.

Un ejemplo de esta investigación conducida con arroz de inundación se presenta en la **Figura 1**. En este caso la extracción de P con resina se compara con la extracción de P con Mehlich 1. Los resultados indican que el P extraído con la resina correlaciona mucho mejor con el P absorbido por el arroz que el P extraído utilizando el método Mehlich 1.

Se han conducido numerosos estudios comparando métodos de determinación de P en el suelo. La revisión de literatura hecha por Silva y Raij (1999) incluye trabajos publicados con suelos de diferentes países en los cuales se correlaciona el contenido de P determinado por diferentes métodos con la absorción de P por la planta. Los datos en la **Tabla 1** indican que el método que utiliza la resina de intercambio iónico se correlaciona mejor con la absorción de P que los otros métodos. Se observó también que este método es apropiado tanto para suelos ácidos como para alcalinos.

Como se observa en la **Tabla 2**, el pH de la solución es importante en el procedimiento que utiliza la resina de intercambio iónico. La extracción de P no fue adecuada cuando el pH de la suspensión fue bajo. En el suelo 2, que no presentó respuesta a la adición de P, se obtuvo un alto valor de P extraíble, 36 mg (dm<sup>3</sup>)<sup>-1</sup> cuando el pH de la suspensión fue de 6.8, mientras que a un pH de 5.6 la determinación solamente reportó 5 mg (dm<sup>3</sup>)<sup>-1</sup>. La mayor disponibilidad del P de los fosfatos de Fe y Al cuando aumenta el pH puede explicar este comportamiento. Esta es también la razón por la cual los extractantes ácidos no remueven P de los suelos con alto contenido de óxidos de Fe y Al que sin embargo tienen suficiente P disponible. Es importante la saturación de la resina de intercambio con el ion bicarbonato porque con esto se amortigua el medio, factor que favorece la estabilidad de los resultados.

La ecuación que se presenta a continuación muestra la dinámica de las formas del P que un método de análisis de suelo debe reflejar. El método que represente estas condiciones debe captar el P que está presente en la solución del suelo en condiciones de campo (cantidades

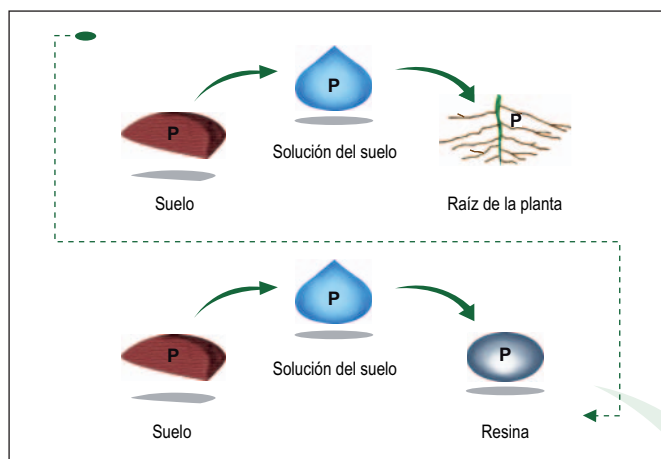


**Figura 1. Relación entre la absorción de P por plantas de arroz de inundación y el P determinado por los procedimientos de resina y Mehlich 1 (Grande et al., 1986).**

\* Tomado de: van Raij, B., H. Cantarella, J.A. Quaggio and L. Prochnow. 2009. Ion Exchange resin for assessing phosphorus availability in soils. Better Crops 93(1):23-25.

**Tabla 1. Efectividad de métodos de extracción de P del suelo para predecir la absorción de P por la planta (Silva y Raij, 1999).**

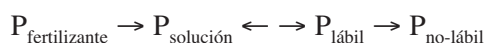
Métodos	Promedio del coeficiente de determinación (100 r <sup>2</sup> ) para suelos		
	Suelos ácidos	Suelos alcalinos o neutros	Suelos no especificados
Resina	84	83	69
Olsen	47	52	58
Mehlich 1	56	39	41
Bray 1	53	25	48
Morgan	26	40	32



**Figura 2. Demostración esquemática del P extraído desde el suelo por la resina de intercambio de iones.**

muy bajas) y extraer el P presente en las formas lábiles (disponibles a través del tiempo) del suelo. Sin embargo, no debe extraer el P que no es lábil (fijado y precipitado en formas muy insolubles) y el P que se encuentra en los fertilizantes aplicados que no se han disuelto. La extracción de P con la resina de intercambio iónico se realiza en una suspensión de agua y esta condición simula mejor que otros métodos la dinámica de absorción de P por las raíces de las plantas.

La resina actúa como un sitio de atracción de los iones que se encuentran en el agua de la suspensión. Los iones fosfato cargados negativamente (principalmente H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup>) son atraídos por las cargas positivas de la resina de intercambio iónico, promoviendo de esta forma la disolución de P lábil de la fase sólida del suelo.



La **Figura 2** muestra en forma esquemática el modo de acción de la resina en comparación con la normal absorción del P por las plantas. Las raíces de las plantas absorben P de la solución del suelo. El movimiento del P a través de la solución del suelo hacia las raíces crea una gradiente de concentración que promueve la disolución del P lábil de la fase sólida y el flujo continuo de P hacia las raíces por difusión. De igual forma, con el

método de la resina, el poco P que está inicialmente presente en la solución es atraído por un material poroso sintético con cargas positivas (resina) simulando la acción de las raíces. Esta condición crea la gradiente de concentración que extrae el P de las formas lábiles. En el laboratorio, el proceso se acelera mediante 16 horas continuas de agitación de la suspensión suelo - resina.

Un análisis de laboratorio debe extraer el P de la solución y el P lábil del suelo, pero no debe remover los fosfatos de lenta liberación si éstos no contribuyen con P que la planta pueda absorber. El método tampoco debe extraer P de las formas no-lábiles. En la práctica, el problema de la mayoría de extractantes para P es que éstos determinan formas químicas específicas de P y no necesariamente el P biodisponible. Los extractantes ácidos, como Mehlich 1, disuelven preferentemente los fosfatos de calcio y los extractantes que contienen fluoruro, como Bray 1, actúan específicamente sobre los fosfatos de aluminio.

En la **Tabla 3** se presentan varios aspectos que ilustran la relación entre diferentes fuentes de P con los métodos de determinación de este nutriente en el suelo. Los suelos utilizados fueron tratados con superfosfato triple, roca fosfórica y fosfato de aluminio calcinado. Se estableció un experimento en macetas y se utilizó soya como planta indicadora. Un tratamiento recibió superfosfato triple al momento de la siembra y en los otros tratamientos se aplicaron las tres fuentes de P 75 días antes de la siembra. Se determinó la absorción de P por la soya y se analizaron las muestras de suelo utilizando los métodos de la resina, Mehlich 1 y Bray 1.

Al comparar los resultados de la aplicación de superfosfato triple a la siembra con la aplicación de este mismo material 75 días antes se puede ver que la disponibilidad de P se reduce con el tiempo de incubación, hecho que se demuestra por la reducción de la absorción de P por la soya que pasa de 4.3 a 2.3 mg maceta<sup>-1</sup> (**Tabla 3**). Esta reducción en la disponibilidad del P proveniente de los fosfatos solubles en agua es un efecto muy conocido. El método de la resina identifica esta tendencia, mientras que los métodos Mehlich 1 o Bray 1 no lo hacen.

La roca fosfórica Alvorada tiene una baja eficiencia agronómica lo que se refleja en la baja absorción de P por la planta indicadora (1.1 mg de P maceta<sup>-1</sup>). Los resultados de la determinación de P con los métodos de la resina y Bray 1 indican esta tendencia, pero Mehlich 1 extrae demasiado P, conducta esperada para un extractante ácido actuando sobre el suelo tratado con apatita.

Cuando se aplicó fosfato de aluminio calcinado, también un material de baja eficiencia agronómica, los valores de P extraídos con la resina y Mehlich 1 fueron bajos, pero con el método Bray 1 se sobreestimó el

**Tabla 2. Efectos del pre-tratamiento<sup>1</sup> de la resina en el pH de la suspensión resina - suelo y en el P extraíble (Raij et al., 1986).**

Saturación de la resina	----- Suelo 1-----		----- Suelo 2 -----	
	pH de la suspensión	P extraído, mg (dm <sup>3</sup> ) <sup>-1</sup>	pH de la suspensión	P extraído, mg (dm <sup>3</sup> ) <sup>-1</sup>
Resina-NaCl	5.3	1	5.6	5
Resina-NaHCO <sub>3</sub>	6.8	12	6.8	36

Suelo 1 - Rendimiento de algodón (kg ha<sup>-1</sup>): testigo 2 058; con P 2 244.

Suelo 2 - Rendimiento de algodón (kg ha<sup>-1</sup>): testigo 3 678; con P 3 673.

<sup>1</sup> La suspensión suelo - resina se agitó toda la noche.

contenido de P disponible ya que el fluoruro de la solución extractora liberó el P ligado a Al.

Estos ejemplos muestran algunas de las limitaciones de los extractantes químicos al estimar el P disponible en el suelo.

Es conocido que valores de pH en el suelo de alrededor de 6 mejoran la disponibilidad de P. Esta situación se demostró con cuatro experimentos de campo en el Estado de São Paulo, Brasil, en los cuales se observó un incremento significativo en la concentración de P foliar en frijol, girasol y soya después de la aplicación de cal (columnas 2 y 3 en la **Tabla 4**). El análisis de las muestras de suelo de las parcelas recolectadas 2 años después de haberlas encalado produjo resultados enigmáticos. Las concentraciones de P extraídas con Mehlich 1 y Bray 1 no mostraron ningún efecto del encalado en la disponibilidad de P como se observa en las columnas 4 y 5 de la **Tabla 4**. Pero los resultados más curiosos se observaron cuando se extrajo P con el método Olsen. Los resultados muestran que a medida que se incrementa el pH en el suelo el contenido de P se reduce, un comportamiento contrario al esperado. Los contenidos de P extraídos con la resina tuvieron el mismo comportamiento que el contenido de P en las hojas. Los resultados demostraron claramente que la extracción de P con la resina evalúa de mejor forma el incremento en la disponibilidad de P producido por el encalado, mientras Mehlich 1 y Bray 1 no fueron

sensibles a estas variaciones de pH. Los resultados con método Olsen indicarían que existe disminución en P disponible a medida que se incrementa el pH, lo cual es inconsistente con las concentraciones de P en las hojas de los cultivos usados en el experimento.

En la **Figura 3** se muestra otro ejemplo del efecto del encalado en el incremento del P disponible cuando se usa el método de la resina. Se utilizaron mapas preparados con

tecnología de agricultura de precisión donde se delinearón los valores de pH y P antes (2007) y después del encalado (2008). La reducción de la acidez por el encalado, como lo indican los valores de pH, resultó en el incremento de P determinado por el método de la resina. Esto tiene importantes consecuencias económicas debido a que reduce la cantidad de fertilizante fosforado a aplicar.

Un método de análisis es bueno solamente si se puede usar a gran escala en el laboratorio. Aun cuando hace más de 50 años se demostró que la extracción con la resina de intercambio iónico era un método válido para la determinación de P disponible en el suelo, siempre se consideró que no era un método apropiado para el análisis de rutina en un laboratorio. Sin embargo, la resina de intercambio iónico se ha utilizado en Brasil desde 1983 (Raij et al., 1986; Raij, 1999) y al momento ha sido adoptada por alrededor de 100 laboratorios en este país. El procedimiento de la resina de intercambio iónico descrito por Raij et al. (1986) usa una mezcla de resinas de cationes y aniones que mejora la extracción de P y también permite la determinación de Ca, Mg y K intercambiables en el mismo extracto. El grupo del Instituto Agronómico de Campinas ha desarrollado equipos baratos que ahorran tiempo (Raij et al., 2001). Estos equipos son fabricados comercialmente por terceros, un aspecto importante para asegurar la adopción del método.

**Tabla 3. Relación entre el efecto de la aplicación de fuentes de P en la absorción de este nutriente y el contenido de P disponible en el suelo determinado por tres diferentes métodos (Raij y Diest, 1980).**

Evaluación	----- Fuentes de fósforo -----							
	Superfosfato triple		Superfosfato triple		Roca fosfórica Alvorada		Fosfato de aluminio calcinado	
	A la siembra		----- 75 días antes de la siembra -----					
	Valor	Índice*	Valor	Índice*	Valor	Índice*	Valor	Índice*
Absorción de P por la soya, mg maceta <sup>-1</sup>	4.3	100	2.3	53	1.1	27	137	10
P Resina, mg (dm <sup>3</sup> ) <sup>-1</sup>	12.7	100	7.9	62	1.7	13	4.6	39
P Bray 1, mg (dm <sup>3</sup> ) <sup>-1</sup>	37.9	100	39.6	105	7.9	21	39.4	104
P Mehlich 1, mg (dm <sup>3</sup> ) <sup>-1</sup>	27.9	100	24.6	88	42.8	153	1.5	5

\* Las evaluaciones con superfosfato triple a la siembra son la base para evaluar el índice de relación con las otras formas de aplicación y determinación de P.

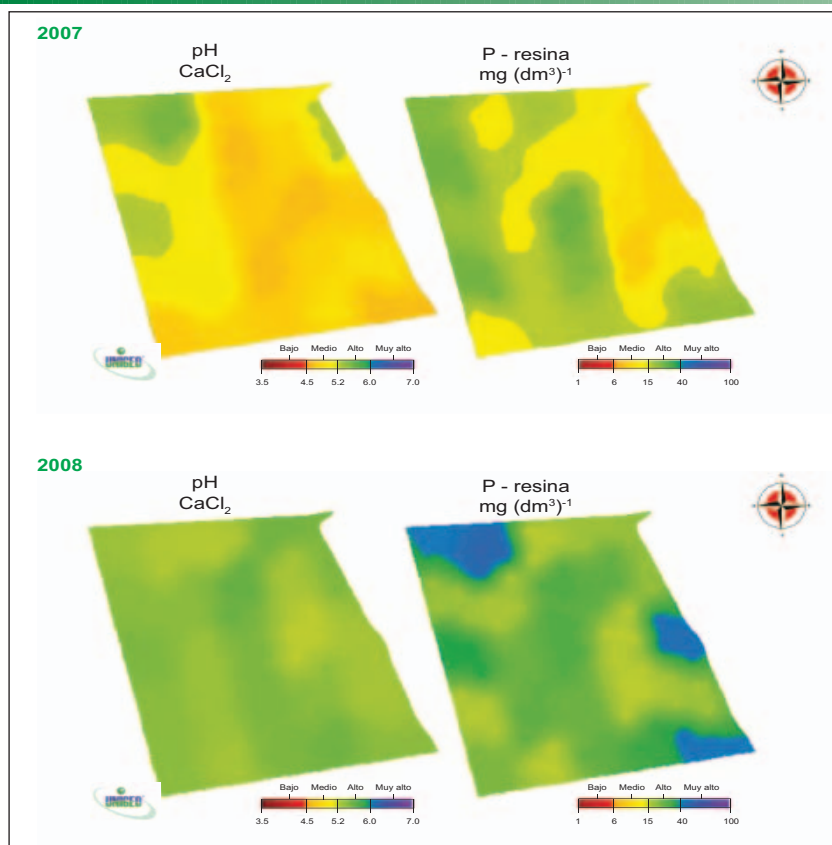


Figura 3. Imágenes de agricultura de precisión mostrando el pH en CaCl<sub>2</sub> y P-resina antes (2007) y después del encalado (2008).

Tabla 4. Relación entre pH del suelo en CaCl<sub>2</sub> 0.01 M, contenido de P en las hojas y P del suelo determinado por cuatro métodos de extracción (Raij y Quaggio, 1990).

Cultivo y suelo	----- P en el suelo, mg (dm <sup>3</sup> ) <sup>-1</sup> -----					
	pH CaCl <sub>2</sub>	P foliar, g kg <sup>-1</sup>	Mehlich 1	Bray 1	Olsen	Resina
Fríjol Suelo orgánico	3.8 d <sup>1</sup>	2.44 b	17 a	20 a	41 a	33 b
	4.2 c	3.21 a	18 a	21 a	33 b	36 ab
	4.7 b	3.25 a	18 a	20 a	26 c	38 ab
	5.1 a	3.26 a	19 a	18 a	19 d	43 a
	5.2 a	3.25 a	20 a	19 a	21 d	43 a
Girasol Ultisol	4.3 c	2.79 c	12 b	24 a	17 a	22 b
	4.6 c	3.27 b	12 b	22 a	17 a	26 ab
	5.3 b	3.81 a	16 a	25 a	16 a	33 ab
	5.5 ab	3.87 a	15 a	20 a	12 a	35 a
Soya Ultisol	5.7 a	3.80 a	16 a	20 a	12 a	37 a
	4.3 a	1.85 c	6 a	15 a	10 a	13 c
	4.8 d	2.06 bc	7 a	16 a	11 a	16 c
	5.5 c	2.44 ab	5 a	13 a	7 a	17 bc
Soya Oxisol	6.1 b	2.26 a	7 a	17 a	8 a	22 ab
	6.4 a	2.55 a	7 a	15 a	8 a	27 a
	4.5 d	2.35 b	9 a	20 a	18 a	16 c
	4.9 c	2.69 ab	8 a	22 a	15 ab	19 bc
	6.1 b	2.88 a	8 a	20 a	13 ab	23 b
	6.6 a	2.85 a	10 a	24 a	12 b	34 a

<sup>1</sup> Números seguidos por letras diferentes en la misma columna son estadísticamente diferentes al 5%.

Se ha demostrado que el P extraído por la resina de intercambio iónico es un indicador sensible de la disponibilidad de P en el suelo. Esta excelente alternativa para la determinación de P en el suelo permite optimizar las recomendaciones de fertilización con P y avanzar hacia mejores tecnologías de fertilización como la agricultura de precisión.

El Dr. Van Raij (bvanraij@terra.com.br) es investigador voluntario del Instituto Agronómico de Campinas y consultor en Nutrición Vegetal. El Dr. Cantarella y el Dr. Quaggio son investigadores del Instituto Agronómico de Campinas. El Dr. Prochnow es el Director de la oficina del IPNI en Brasil (pprochnow@ipni.net).

Los autores agradecen a UNIGEO por permitir el uso de sus imágenes de Agricultura de Precisión.

### Bibliografía

Grande, M.A., N. Curi, and J.A. Quaggio. 1986. Disponibilidade de fósforo pelos extratores de Mehlich e resina em solos de várzea cultivados com arroz irrigado. Revista Brasileira de Ciência do Solo 10:45-50.

Raij, B. van. 1999. Bioavailable tests: alternatives to standard soil extractions. Communications in Soil Science and Plant Analysis 29:1553-1570.

Raij, B. van., J.C. Andrade, H. Cantarella and J.A. Quaggio. 2001. Chemical analysis for the evaluation of the fertility of tropical soils. Campinas: Instituto Agronômico, (in Portuguese)

Raij, B. van., and A. van. Diest. 1980. Phosphate supplying power of rock phosphates in an oxisol. Plant and Soil 55:97-104.

Raij, B. van, and J.A. Quaggio. 1990. Extractable phosphorus availability indexes as affected by liming. Communications in Soil Science and Plant Analysis 21:1267-1276.

Raij, B. van., J.A. Quaggio, and N.M. da Silva. 1986. Extraction of phosphorus, potassium, calcium, and magnesium from soils by ion-exchange resin procedure. Communications in Soil Science and Plant Analysis 17:547-566.

Silva, F.C., and B. van Raij. 1999. Disponibilidade de fósforo em solos avaliada por diferentes extratores. Pesquisa Agropecuária Brasileira 34:267-288.★

## REPORTE DE INVESTIGACION RECIENTE

### MINERALIZACION DE RESIDUOS Y CRECIMIENTO DE RAICES EN CAÑA DE AZUCAR EN RELACION A LA FERTILIZACION CON NITROGENO A LA SIEMBRA

Vitti, A.C., et al. 2008. *Mineralização da palhada e crescimento de raízes de caña-de-açúcar relacionados com a adubação nitrogenada de plantio*. R. Bras. Ci. Solo, 32:2757-2762, Número Especial.

Este experimento se condujo utilizando la variedad de caña de azúcar SP81 3250, en un área comercial del Ingenio São Martinho, Pradópolis, São Paulo, Brasil, en un suelo clasificado como Rhodix eutrútox de textura arcillosa. El experimento tuvo un diseño de bloques al azar con cuatro repeticiones. Se colocaron bolsas con desecho enriquecido con <sup>15</sup>N (1.07 % átomos de <sup>15</sup>N), equivalentes a 9 t ha<sup>-1</sup> de materia seca, en la superficie y entre los surcos de plantas de caña en todos los tratamientos (0, 40, 80 y 120 kg ha<sup>-1</sup> de N). Luego de 14 meses (Junio del 2005 a Agosto del 2006) se removieron las bolsas para medir la materia seca remanente, determinar la cantidad total de N y C, y la concentración isotópica de <sup>15</sup>N mediante espectrometría de masa. Los resultados indicaron que la descomposición del residuo fue más alta en los tratamientos fertilizados con N y que el balance de masa subestima las cantidades de N liberado por los residuos en comparación con la técnica isotópica. Se demostró además que después de 14 meses, entre el 37 y el 65 % de la masa seca del residuo sobre la superficie estaba compuesto por restos de raíces de la caña cultivada en ese periodo, por la contaminación por suelo y por los microorganismos que viven en los residuos. Esto sugiere que los procesos de descomposición de los

desechos son más dinámicos que aquellos estimados a través de las ecuaciones de balance de masa. ★

### FUENTES DE NITROGENO Y EPOCAS DE APLICACION EN TRIGO EN LABRANZA CERO EN SUELOS DEL CERRADO

Aparecida da Silva, S., O. Arf, S. Buzetti, e M. da Silva. 2008. *Fontes e épocas de aplicação de nitrogênio em trigo em istema plantio direto no Cerrado*. R. Bras. Ci. Solo, 32:2717-2722, Número Especial.

El N es un nutriente muy importante por su dinámica en el suelo y por la alta demanda de los cultivos. La cantidad de N suplementada por el suelo es generalmente insuficiente y se requiere fertilizar con N para obtener máximos rendimientos. Este estudio se condujo con el objetivo de evaluar distintas fuentes y periodos de aplicación de N en trigo con labranza cero. Se utilizó un diseño de bloques al azar con un esquema factorial 2 x 6, con cuatro repeticiones. Los tratamientos resultaron de la combinación de dos fuentes de N: urea y Entec con seis épocas de aplicación: control (sin N), N a la siembra (S); N 15 días después de la emergencia (DDE); N 30 DDE; 1/3 N a la siembra más 2/3 15 DDE; y 1/3 a la siembra más 2/3 30 DDE. El experimento se llevó cabo en la estación experimental de la UNESP en el Condado de Selvíria, Estado de Matto Grosso do Sul, en un suelo previamente ocupado por vegetación de cerrado. El N aplicado 30 días después de la emergencia produjo los rendimientos más altos, a pesar de que no hubieron diferencias estadísticas con la aplicación del 1/3 N a la siembra más 2/3 N 30 DDE de las plantas. ★

## CURSOS Y SIMPOSIOS

### 1. XVI Conferencia Internacional sobre Palma de Aceite

**Organiza** : Fedepalma / Cenipalma  
**Lugar y Fecha** : Cartagena de Indias, Colombia  
 Septiembre 22-25, 2009  
**Información** : Fedepalma / Cenipalma  
 : Tel.: 57 1 208 6300  
 : www.fedepalma.org  
 : www.cenipalma.org

### 2. XVIII Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo

**Organiza** : SLCS - ACCS  
**Lugar y Fecha** : San José, Costa Rica  
 Noviembre 16-20, 2009  
**Información** : SLCS - ACCS  
 : Tel.: 506 2253 7631  
 : info@clacs2009.com  
 : www.clacs2009.com

### 3. XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo

**Organiza** : AACS  
**Lugar y Fecha** : Rosario, Santa Fe, Argentina  
 Mayo 31 - 4 Junio, 2010  
**Información** : AACS  
 : Tel.: 54 11 4783 3021/23  
 : Fax.: 54 11 4783 3024  
 : www.suelos.org.ar

### 4. XIX Congreso Mundial de la Ciencia del Suelo

**Organiza** : ASSSI - IUSS  
**Lugar y Fecha** : Brisbane, Australia  
 Agosto 1-6, 2010  
**Información** : ASSSI - IUSS  
 : Tel.: 617 3368 2644  
 : soil@ccm.com.au  
 : www.19wcss.org.au

## PUBLICACIONES DISPONIBLES

	* <b>Nutrición y Fertilización del Mango.</b> Esta publicación ofrece información básica para el manejo de la nutrición y fertilización del mango tomando en cuenta las particulares características de desarrollo de este cultivo en el trópico.	\$ 15.00
	* <b>Manual de Arroz: Desórdenes Nutricionales y Manejo de Nutrientes.</b> Esta publicación contiene información que permite desarrollar estrategias de recomendaciones de fertilización del arroz cultivado en regiones tropicales y subtropicales.	\$ 25.00
	* <b>Guía Práctica para el Manejo de Nutrientes en Arroz.</b> Contiene una discusión concisa y muy práctica de las estrategias de manejo nutricional y recomendaciones de fertilización del arroz cultivado en regiones tropicales y subtropicales. Excelente herramienta de apoyo en el contacto diario con los agricultores.	\$ 15.00
	* <b>Guía de Campo, Serie en Palma Aceitera, Volumen 1: Vivero.</b> Guía de campo preparada específicamente para uso práctico en el manejo diario de la palma aceitera. El volumen 1 cubre el manejo del vivero para producir plántas de calidad que deben estar disponibles para la siembra en el campo en el momento requerido.	\$ 20.00
	* <b>Guía de Campo, Serie en Palma Aceitera, Volumen 2: Fase Inmadura.</b> Guía de campo preparada específicamente para uso práctico en el manejo diario de la palma aceitera. El volumen 2 cubre el manejo de la fase inmadura de la plantación para lograr una población uniforme de palmas productivas en cada bloque del campo.	\$ 20.00
	* <b>Guía de Campo, Serie en Palma Aceitera, Volumen 3: Fase Madura.</b> Guía de campo preparada específicamente para uso práctico en el manejo diario de la palma aceitera. El volumen 3 cubre el manejo de la fase madura de la plantación para lograr rendimientos sostenidos de racimos de fruta fresca a través de toda la etapa productiva del cultivo.	\$ 20.00
	* <b>Síntomas de Deficiencias de Nutrientes y Desórdenes en Palma Aceitera.</b> 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
	* <b>Síntomas de Deficiencias Nutricionales y Otros Desórdenes Fisiológicos en Banano.</b> Guía de Campo para técnicos y agricultores que permite identificar en el campo los síntomas de deficiencias nutricionales, conocer sus causas y determinar una estrategia de prevención o recuperación.	\$ 8.00
	* <b>Manual Internacional de Fertilidad de Suelos.</b> Publicación didáctica sobre uso y manejo de suelos y fertilizantes con datos y ejemplos de diferentes partes del mundo	\$ 15.00
	* <b>Manual de Nutrición y Fertilización del Café.</b> Este manual presenta conceptos modernos del manejo de la nutrición y fertilización del café como herramienta para lograr rendimientos altos sostenidos.	\$ 20.00
	* <b>Manual de Nutrición y Fertilización de Pastos.</b> Esta publicación ofrece a las personas envueltas en la producción ganadera una visión amplia del potencial productivo, de los requerimientos nutricionales y de los factores limitantes impuestos por el ambiente tropical a la producción de forrajes.	\$ 15.00
	* <b>Nutrición de la Caña de Azúcar.</b> 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