

Mejores prácticas de manejo de la nutrición y de los fertilizantes en cultivos de cosecha gruesa ¹

Fernando O. García

IPNI Cono Sur – Av. Santa Fe 910, Acassuso, Buenos Aires, Argentina

fgarcia@ipni.net

El escenario actual de la producción de granos presenta condiciones especiales para definir el manejo no solamente del cultivo en general sino de los nutrientes y fertilizantes en particular. Los costos crecientes de la tierra y los insumos, en muchos casos no son compensados por los mejores precios de los granos, y a esto se le suma la incertidumbre en cuanto a las condiciones para el futuro cercano. En este marco, la intensificación, definida como la mayor y más eficiente producción por unidad de recurso y/o insumo involucrado, se presenta como una alternativa válida.

La intensificación debe responder a los objetivos del productor: productividad (P), rentabilidad (R), sustentabilidad del sistema de producción (S) y protección del ambiente (A). Por otra parte, estos objetivos deben responder a los objetivos de sustentabilidad económica, ecológica y social comunes a toda la sociedad (Bruuselma et al., 2008).

El manejo de los fertilizantes, y nutrientes en general, debe compatibilizarse con y responder a los cuatro objetivos del productor (P, R, S y A), por lo que las mejores prácticas de manejo (MPM) de nutrientes y fertilizantes se consideran un subconjunto de las mejores prácticas de manejo de cultivos a nivel de lote y/o establecimiento. Las MPM en el uso de fertilizantes se basan en la elección de una fuente correcta para ser aplicada en dosis, forma y momento adecuados (Bruuselma et al., 2008).

La Figura 1 muestra la relación existente entre los distintos niveles discutidos, las MPM de fertilizantes insertadas en el manejo productivo, rentable, sustentable y cuidadoso del ambiente de los cultivos, para responder a los criterios de sustentabilidad económica, ecológica y social demandados por la sociedad. Este marco general enfatiza la necesidad de implementar las MPM de los fertilizantes a partir de principios científicos probados que son globales y también aplicables a nivel de establecimiento. Las MPM deben ser evaluadas a través de indicadores que reflejen el impacto combinado de las mismas a nivel regional, nacional y global.

Los nutrientes generalmente deficientes para los cultivos en Argentina son el nitrógeno (N), el fósforo (P) y el azufre (S). En los últimos años, se han observado deficiencias de algunos nutrientes secundarios (magnesio, calcio) y micronutrientes (boro, zinc, molibdeno) en algunas zonas, fundamentalmente a partir de la intensificación de la agricultura (mayores rendimientos y reducción de períodos bajo pastura), las cuales inevitablemente deben ser consideradas a partir de la información disponible. En este escrito se discuten i) los balances de nutrientes, ii) los aspectos relacionados con la situación actual de la fertilización fosfatada y su manejo, y iii) las MPM para el uso de fertilizantes en soja y maíz.

¹ Presentado en Jornada de Cosecha Gruesa, Región CREA Mar y Sierras. Tres Arroyos, 22 de Agosto de 2008.

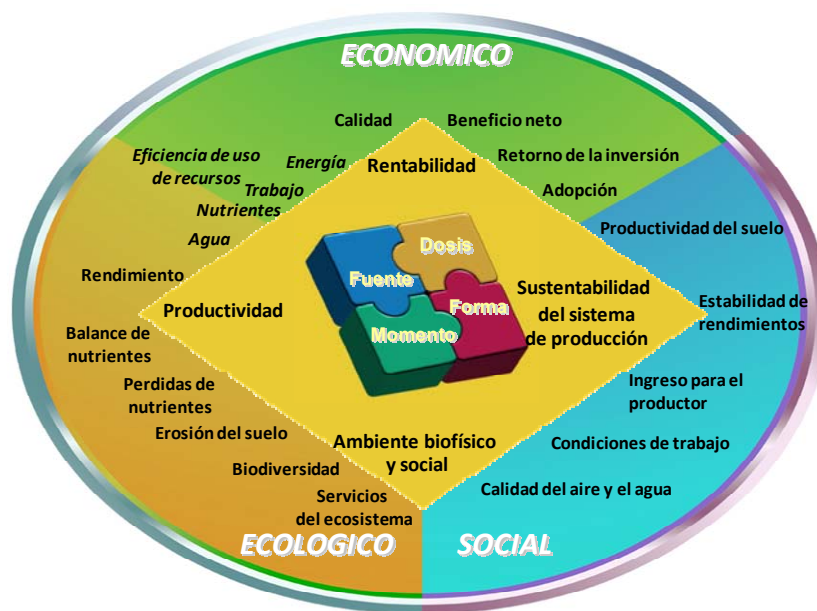


Figura 1. Marco global para las mejores prácticas de manejo (MPM) para el uso de los fertilizantes (Bruuselma et al., 2008).

Balance de nutrientes

El balance de nutrientes es la diferencia entre la cantidad de nutrientes que entran y que salen de un sistema definido en el espacio y en el tiempo. En general, estos balances se consideran para la capa de suelo explorada por las raíces en períodos anuales. Los balances pueden resultar deficitarios o acumulativos generándose situaciones de pérdida (egresos > ingresos) o de ganancia (ingresos > egresos). Esta definición permite estimar balances nutricionales de un lote en una campaña agrícola a partir de los nutrientes que egresan del suelo en los granos y forrajes cosechados, en los productos animales y en los residuos de cultivos que son transferidos a otros lotes. Los ingresos de nutrientes al suelo están constituidos por los aportados por fertilizantes, abonos orgánicos (incluyendo residuos de cultivos no generados en el mismo lote) y, en el caso de N, por la fijación de N₂ del aire. El aporte de nutrientes de los residuos de cultivos realizados en el mismo lote, se considera un reciclaje de nutrientes dentro del mismo sistema suelo y por lo tanto, no se incluye entre los ingresos.

Esta estimación del balance de nutrientes responde al concepto de “caja negra”, es decir que no considera las transformaciones de nutrientes en el sistema suelo-planta ni las pérdidas gaseosas, por lavado o erosión. Un balance negativo a nivel de un lote que presenta excesivos niveles de fertilidad no debe ser considerado necesariamente como “malo”. También, balances de nutrientes neutros (ingreso = egreso), indican que el stock del suelo no varió, pero la calidad y, por ende, la fertilidad del suelo podría haber sido alterada.

Los egresos de nutrientes de un lote pueden ser estimados a partir de las concentraciones promedio en granos y forrajes cosechados (Ciampitti y García, 2007) y los rendimientos de los cultivos. Los ingresos

de nutrientes se estiman a partir de las cantidades de fertilizantes o abonos orgánicos aplicados y su concentración en nutrientes. Las cantidades de N₂ fijado vía simbiótica y asimbiótica varían según especie, condiciones ambientales y de manejo. Por ejemplo, para soja en la región pampeana argentina, el aporte de N vía fijación simbiótica se ha estimado entre un 30% a 70% de las necesidades totales del cultivo.

Argentina ha incrementado notablemente el uso de nutrientes vía fertilizantes en los últimos 16 años (Fig. 2). Sin embargo, a pesar de las mejores relaciones aplicación/extracción observadas en los últimos años (Fig. 3), los balances de nutrientes siguen siendo negativos para nuestros suelos. La estimación de extracción en grano y la aplicación de N, P, K y S, en los seis principales cultivos indica que, para la campaña 2007/08, se repuso vía fertilización el 48%, 59%, 2%, y 42% del N, P, K y S, respectivamente, extraídos en los granos. Estas cifras indican que el fuerte crecimiento en el uso de fertilizantes no alcanza a compensar el crecimiento notable que se ha registrado en la producción de granos. Los desbalances nutricionales en los suelos llevan a la degradación de la fertilidad nativa del suelo, ejemplificada en las marcadas disminuciones de materia orgánica y las caídas en la productividad de los cultivos observadas en distintas zonas y sistemas de producción.

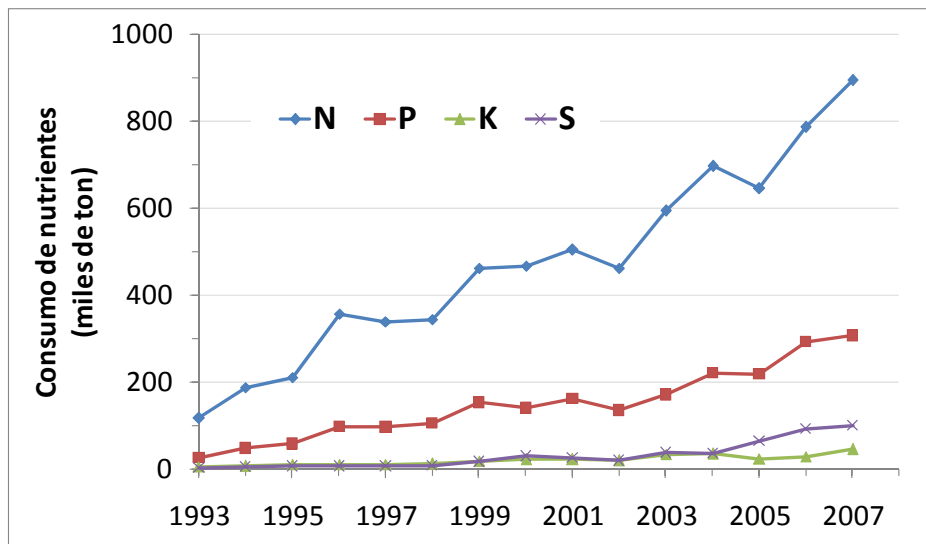


Figura 2. Consumo aparente de N, P, K y S de fertilizantes en Argentina. Período 1993-2007. Elaborado a partir de información de SAGPyA, Fundación Producir Conservando y Fertilizar A.C.

Una agricultura sustentable debería considerar el balance de nutrientes de los lotes en los cuales se está trabajando. En situaciones de alta disponibilidad de nutrientes en los suelos, estos balances podrán ser negativos por determinado tiempo, pero deberá monitorearse periódicamente la disponibilidad en los suelos y analizar como la impactan los balances negativos. En la medida en que nos acercamos a niveles de disponibilidad críticos para los cultivos, los balances deberán ser neutros o positivos. Los balances

positivos permitirán recuperar situaciones de baja disponibilidad de nutrientes (por debajo de niveles críticos).

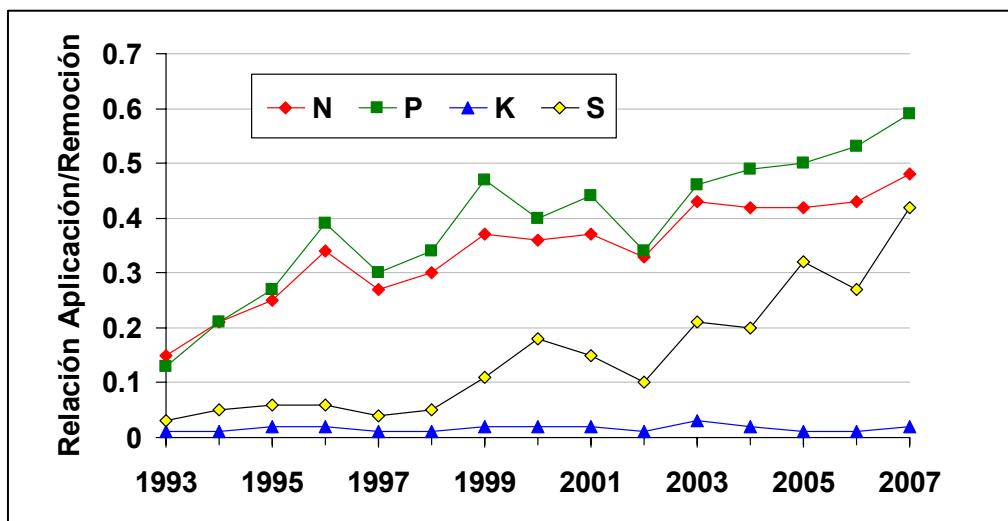


Figura 3. Relación de nutrientes aplicados (N, P, K y S) vía fertilización respecto a nutrientes extraídos en granos de girasol, soja, trigo y, maíz en el periodo 1993-2007.

Situación actual de la fertilización fosfatada

La fertilización fosfatada de los cultivos de grano en nuestro país se ha realizado históricamente siguiendo un criterio o filosofía de suficiencia:

- Se fertiliza solamente por debajo del nivel crítico.
- Para cada nivel debajo del nivel crítico, distintas dosis determinan el óptimo rendimiento físico o económico.
- No se consideran efectos de la fertilización en los niveles de nutriente en el suelo.
- Requiere buen conocimiento de las dosis óptimas para cada cultivo, y del nivel inicial y precisión en el análisis de suelo.
- Aumenta el retorno por kg de nutriente y también el riesgo de perder respuesta total y retorno a la producción.
- Requiere atención y cuidado, muestreo frecuente y formas de aplicación costosas.
- Buena opción para suelos “fijadores”, y en lotes en arrendamiento anual.

Frecuentemente, las dosis recomendadas bajo este criterio, no cubren la extracción del nutriente vía grano. Estimaciones realizadas a nivel de partido/departamento para la Región Pampeana en la campaña 2003/04 mostraban que solamente en los partidos del sur de la Provincia de Buenos Aires, las dosis de aplicación de P cubrían la extracción de P en los granos (García, 2006). Estos balances neutros a levemente positivos deberían ser revisados dados los incrementos registrados en los rendimientos y la expansión del cultivo de soja de segunda luego de trigo o cebada en dicha región.

A modo de ejemplo, aplicaciones de 80 kg/ha de fosfato diamónico (FDA) (16 kg/ha de P) cubren extracciones de maíz de hasta 6000 kg/ha de rendimiento, trigo de hasta 4500 kg/ha y soja de hasta 3000 kg/ha. Cualquier rendimiento superior a los indicados resulta en una exportación de P superior a los 16 kg P/ha que aportan los 80 kg/ha de FDA y, por lo tanto, en un balance de P negativo.

La alternativa al criterio o filosofía de suficiencia es el criterio de construir y mantener el nivel de P Bray del suelo:

- No se debe trabajar en la zona de deficiencia grave y probable.
- Si el nivel de P es bajo, se fertiliza no solo para alcanzar el máximo rendimiento, sino para asegurar que se sube el nivel inicial.
- Llegar al óptimo nivel en 4 a 6 años y mantenerlo, generalmente basado en la remoción de nutriente con las cosechas.
- Puede reducir el retorno por kg de nutriente pero también reduce el riesgo de disminuir el retorno a la producción.
- Menor impacto de errores de calibración de análisis de suelo, recomendaciones y de muestreo.
- No requiere muestreos frecuentes ni métodos de aplicaciones costosas.
- Razonable en suelos poco o no "fijadores", y en lotes de propiedad.

Actualmente, existe abundante información en la región pampeana que indica cuantos kg de P deben aplicarse para elevar el nivel de P Bray del suelo en 1 ppm según la textura, la zona, el nivel de P Bray inicial y el periodo considerado. En términos generales, se requieren entre 4 y 7 kg P/ha para incrementar el P Bray en 1 ppm al año siguiente, sin considerar la extracción de los cultivos. A modo de ejemplo, si se espera un rendimiento de maíz de 10000 kg/ha y se quiere aumentar el nivel de P Bray en 2 ppm, se deberían aplicar 26 kg/ha de P que extraen los granos mas 8-14 kg/ha de P para aumentar el contenido de P, es decir un total de 34-40 kg/ha de P.

La decisión por uno u otro criterio, a partir del conocimiento agronómico, es empresarial y depende de factores tales como la tenencia de la tierra (propietario, arrendatario), disponibilidad de capital, etc. Probablemente, en muchas situaciones, el criterio más adecuado involucre una situación intermedia entre ambas filosofías.

Los precios crecientes de los fertilizantes fosfatados requieren de un mejor uso de las MPM para decidir la dosis y el manejo del fertilizante, destacándose la importancia del análisis de suelo. La evaluación de la fertilidad fosfatada de los suelos se basa en el análisis de suelos en pre-siembra que determina el nivel de P Bray a 0-20 cm. Esta metodología ha sido probada y recomendada para todos los cultivos. Las calibraciones para maíz y soja sugieren niveles críticos por debajo de los cuales la probabilidad de respuesta es alta, de 10 a 16 mg/kg P Bray (Fig. 4). Una vez conocido el nivel de P Bray del suelo, el criterio de fertilización para P puede definirse como de suficiencia o de construcción y mantenimiento, como se indica en párrafos precedentes.

Otros factores a considerar en la toma de decisión de la dosis correcta de fertilización fosfatada son i) los balances de P del suelo previamente discutidos, ii) las interacciones de P con otros nutrientes como N o S y iii) el impacto de la fertilización fosfatada en el retorno económico de las inversiones en tierra, semilla, herbicidas, etc.

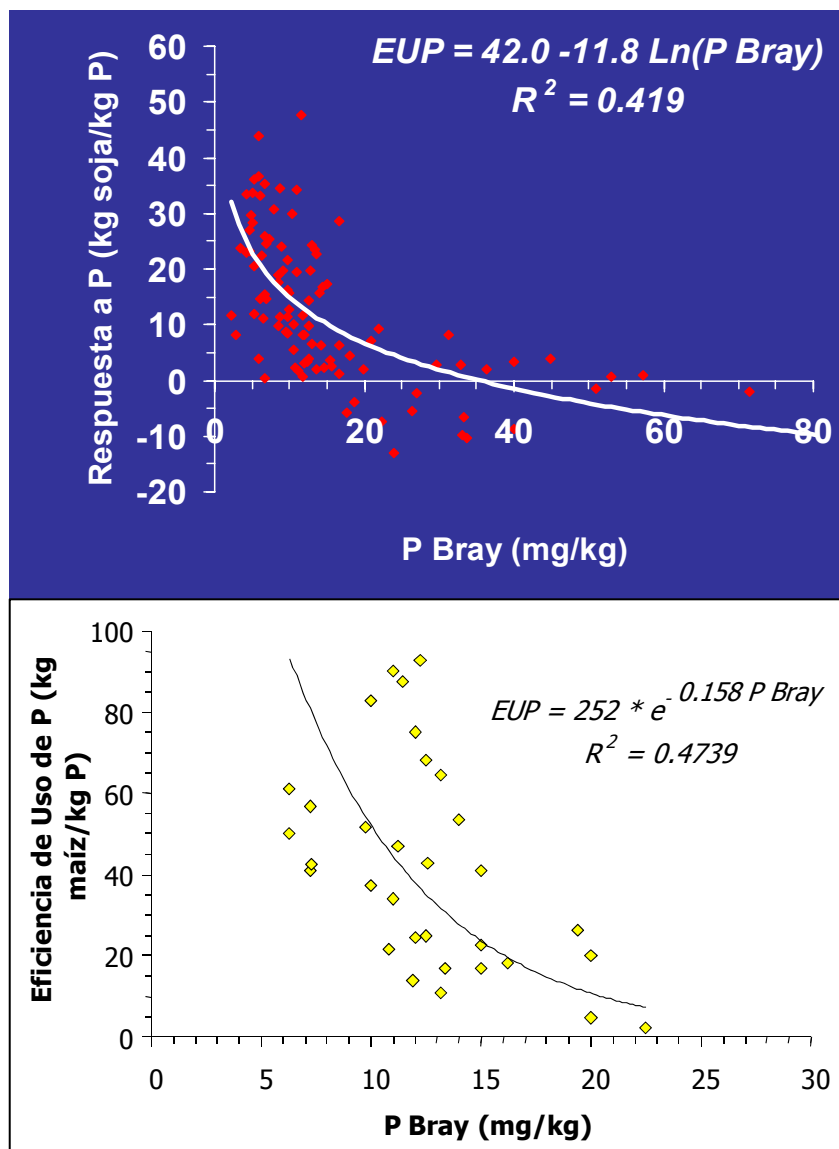


Figura 4. Respuesta a P en kg soja (grafico superior) y kg de maíz (grafico inferior) por kg de P aplicado en función del nivel de P Bray del suelo para 101 ensayos de soja y 35 ensayos de maíz realizados entre 1996 y 2004 en Argentina.

Mejores prácticas de uso de fertilizantes para los cultivos de soja y maíz

Algunas consideraciones de importancia para tener en cuenta al discutir las MPM de los nutrientes y fertilizantes son:

- Para todos los nutrientes, las MPM en el uso de fertilizantes (dosis, fuente, momento y ubicación) interactúan entre ellas y con las condiciones edafo-climáticas y las otras prácticas de manejo de suelo y de cultivo.

- La combinación adecuada de dosis-fuente-momento-ubicación es específica para cada condición de lote y/o sitio.
- Las MPM no solo afectan al cultivo inmediato, sino frecuentemente a los cultivos subsiguientes en la rotación. Los efectos residuales del manejo de nutrientes pueden ser de gran significancia en muchos casos.
- Las decisiones de implementación de las MPM de fertilizantes impactan la productividad y sustentabilidad del suelo, un recurso finito no renovable sobre el que se basa la producción agropecuaria nacional.
- Las interacciones entre los nutrientes son muy importantes debido a que la deficiencia de uno puede restringir la absorción y la utilización de otros. Numerosos estudios han demostrado la importancia de una nutrición balanceada de los suelos y los cultivos.

Dosis Correcta

Aplicaciones excesivas o en deficiencia pueden resultar en una eficiencia de uso de los nutrientes subóptima, en pérdidas de rendimiento o calidad del cultivo y/o en una menor rentabilidad. Los análisis de suelo son la mejor herramienta disponible para determinar la capacidad del suelo de proveer nutrientes, pero para realizar recomendaciones apropiadas se debe disponer de calibraciones actualizadas periódicamente.

A continuación se presentan sintéticamente los aspectos más relevantes en cuanto a la dosis correcta para N y S. Los aspectos relacionados con la dosis correcta de P fueron discutidos en secciones anteriores.

Nitrógeno

En el caso de soja, la provisión de N para el cultivo debe ser canalizada a través de la adecuada inoculación para maximizar el aporte de N del aire por fijación biológica. Esta es la MPM de este nutriente no solamente para el cultivo, sino también para el sistema de producción.

En maíz, los umbrales críticos de disponibilidad de N a la siembra (N-nitratos suelo, 0-60 cm, + N fertilizante) constituyen el método más difundido para determinar las necesidades de N. Estos umbrales varían según la zona y el nivel de rendimiento objetivo. Evaluaciones de resultados experimentales más recientes indican que disponibilidades de 150-170 kg N ha⁻¹, según el potencial de rendimiento, maximizan el beneficio económico de la fertilización nitrogenada.

Pueden utilizarse otras metodologías para determinar la dosis correcta de N si están calibradas para las condiciones de manejo locales, por ej. análisis de N-nitratos en suelo a 0-30 cm en estado de 5-hojas u otros.

Azufre

Algunas redes de ensayos han permitido determinar umbrales críticos de S-sulfatos a 0-20 cm de profundidad en pre-siembra, con valores generalmente cercanos a 10 mg/kg S-sulfatos, por debajo de los cuales la respuesta es altamente probable. Sin embargo, no se han podido generalizar niveles críticos que sirvan de guía para la toma de decisión.

Los ambientes más frecuentemente deficientes en S incluyen una o varias de las siguientes condiciones: suelos degradados, con muchos años de agricultura continua (especialmente soja), con historia de cultivos de alta producción con fertilización nitrogenada y fosfatada; suelos arenosos de bajo contenido de materia orgánica; y/o suelos sin aporte de sulfatos por presencia de napas freáticas superficiales. Las dosis de S recomendadas varían, según el nivel de rendimiento esperado y la historia agrícola del lote, entre 10 y 15 kg/ha de S en soja de primera y entre 5 y 15 kg/ha de S en maíz.

Otros nutrientes

La intensificación de la agricultura ha resultado en la disminución de los niveles de bases (calcio, magnesio) y pH en algunos suelos, especialmente en el norte de la región pampeana, con respuestas significativas a la aplicación de enmiendas calcáreas y/o dolomíticas en alfalfa y soja. Se han determinado deficiencias y respuestas a boro (B) y zinc (Zn) en maíz y soja. Otros trabajos han demostrado la importancia de una adecuada nutrición con molibdeno (Mo) y cobalto (Co) y respuestas en rendimiento cuando estos nutrientes se aplicaron con la semilla y el inoculante.

En todos estos casos, se debe evaluar en detalle la información local disponible. Obviamente, es un área en la cual se deben enfatizar las futuras investigaciones para proveer bases científicas probadas para la toma de decisión.

Fuente, Momento y Forma Correcta

Nitrógeno

Consideraciones para el cultivo de maíz:

- Aplicaciones en 5-6 hojas son más eficientes bajo condiciones húmedas entre la siembra y la aplicación.
- Aplicaciones a la siembra presentan similares eficiencias con bajas precipitaciones entre la siembra y 5-6 hojas.
- La incorporación es la forma de aplicación más eficiente de cualquier fuente nitrogenada.
- Aplicaciones superficiales con temperaturas medias del aire mayores de 15°C durante 3-4 días resultan en pérdidas por volatilización de amoníaco a partir de fertilizantes que contengan urea.
- En aplicaciones superficiales de urea sobre un suelo/rastrojo seco, las pérdidas por volatilización son prácticamente nulas.
- Las pérdidas por volatilización e inmovilización serán potencialmente mayores a mayor cobertura de residuos.
- La aplicación en bandas superficiales concentradas de UAN o urea en superficie reduce el riesgo de volatilización y la inmovilización.
- En aplicaciones con la semilla en maíz se pueden producir efectos fitotóxicos con dosis superiores a 40 kg/ha de urea, o 100 kg/ha de nitrato de amonio, CAN o sulfato de amonio. Los efectos varían con la humedad del suelo.

Fósforo

- El mercado argentino ofrece actualmente numerosas fuentes de P que permiten alcanzar el objetivo de fuente correcta en lo que hace a las MPM para el uso de fertilizantes y pueden adaptarse a distintas necesidades de logística.
- Todas las fuentes solubles de P (FDA, FMA, SFT, SFS) presentan similares eficiencias de uso por unidad de P. Las diferencias entre fuentes dependerán de los otros nutrientes incluidos en cada fertilizante (N, S u otros). La decisión dependerá entonces del costo por unidad de P y el aporte de otros nutrientes necesarios para el cultivo.
- Las aplicaciones en bandas a la siembra son más eficientes en suelos fijadores, de baja disponibilidad de P (P Bray menor de 8-10 mg/kg) y/o con dosis bajas (menores de 15 kg/ha de P).
- Las aplicaciones al voleo en pre-siembra presentan eficiencias similares a las de bandas a la siembra en condiciones de suelos no fijadores, nivel de P del suelo mayor a 8-10 mg/kg, dosis mayor de 20-25 kg P/ha, una anticipación a la siembra de al menos 45-60 días, y lluvias post-aplicación mayores de 50 mm.
- En maíz, aplicaciones con la semilla superiores a 100 kg/ha de fosfato diamónico, 120 kg/ha de fosfato monoamónico, o 140 kg/ha de superfosfato triple pueden producir efectos fitotóxicos. Los efectos varían con la humedad del suelo.
- En soja, se recomienda no aplicar fertilizantes junto con la semilla por los efectos fitotóxicos sobre el inoculante. Para la semilla se observan efectos fitotóxicos con aplicaciones de 40 kg/ha o más de FDA, FMA y SFT, según la humedad del suelo.

Azufre

- Las fuentes azufradas que contienen sulfatos presentan similares eficiencias de uso. El yeso, de menor solubilidad, debe aplicarse en partículas de tamaño pequeño para permitir un buen contacto con el suelo y facilitar su disolución. En caso de usar yesos, se debe considerar la calidad química y física y verificar su registro en SENASA.
- Las aplicaciones de S pueden realizarse al voleo o en línea y han resultado en eficiencia de uso similares en aplicaciones pre-siembra, a la siembra, o en estadios temprano de desarrollo de los cultivos.

Consideraciones finales

- El escenario actual de la producción de granos requiere que seamos eficientes en el manejo de los sistemas de producción y en el uso de los recursos e insumos involucrados. Frecuentemente, ante una relación de precios insumo/producto creciente, se toman decisiones inmediatas de reducción de uso de los insumos sin considerar la información científica disponible.
- La fertilización de cultivos debe manejarse en función de la cuantiosa información experimental existente y asociarse con otras prácticas de manejo de suelos y cultivos que maximizan la productividad y rentabilidad del sistema, y preservan y mejoran la sustentabilidad y calidad del recurso suelo (rotaciones, siembra directa, implantación de coberturas, manejo integrado de plagas y enfermedades, etc.).

- Es importante conocer el balance de nutrientes de los lotes en que se está trabajando y, como estos balances se relacionan con la disponibilidad de los nutrientes para los cultivos en rotación. El proceso productivo no se reduce a un único ciclo agrícola.
- Para lograr los objetivos de productividad, rentabilidad, sustentabilidad del sistema y calidad ambiental, es necesaria la aplicación de las MPM de fertilizantes: dosis correcta, fuente adecuada, momento correcto y ubicación correcta del fertilizante. La combinación de estos cuatro factores permite alcanzar rendimientos elevados, rentables y sustentables a corto y largo plazo, y maximizar la eficiencia de uso de los nutrientes beneficiando a los productores y a toda la sociedad.
- En una campaña “difícil” como la 2008/09, debemos tener presente las principales MPM:
 - Análisis de suelo como herramienta básica en la toma de decisión de la fertilización.
 - Mantener fertilizaciones balanceadas según las necesidades del lote y el cultivo. Inversiones en un nutriente “caro” como el P son muchas veces imprescindibles para obtener respuestas de otros nutrientes como N o S.
 - El uso de dosis correctas, es decir necesarias para alcanzar máximos rendimientos económicos, resulta en el mayor retorno económico, no solamente de la inversión en fertilizantes, sino también de la tierra, y de otros recursos e insumos.

Referencias

- Bruuselman T. C. Witt, F. Garcia, S. Li, T. N. Rao, F. Chen y S. Ivanova. 2008. Un marco global para las mejores prácticas de manejo (MPM) de los fertilizantes. *Informaciones Agronómicas* 38:1-4. Disponible en [http://www.ipni.net/ppiweb/iaarg.nsf/\\$webindex/7F0D5C22EBA52C9503257451004C1C6A!opendocument](http://www.ipni.net/ppiweb/iaarg.nsf/$webindex/7F0D5C22EBA52C9503257451004C1C6A!opendocument)
- Ciampitti I.A. y F.O. García. 2007. Requerimientos nutricionales, absorción y extracción de macronutrientes y nutrientes secundarios. I Cereales, Oleaginosos e Industriales. *Informaciones Agronómicas* Nº 33, Archivo Agronómico Nº 11. IPNI Cono Sur. Acassuso, Buenos Aires, Argentina. Disponible en [http://www.ipni.net/ppiweb/ltams.nsf/\\$webindex/E036AC788900A6560325728E0069FF05](http://www.ipni.net/ppiweb/ltams.nsf/$webindex/E036AC788900A6560325728E0069FF05).
- García F. 2006. La nutrición de los suelos y la nutrición de los cultivos. *Informaciones Agronómicas* 29:13-16. Disponible en [http://www.ipni.net/ppiweb/iaarg.nsf/\\$webindex/1E3591254C5C780503257130006645B1!opendocument](http://www.ipni.net/ppiweb/iaarg.nsf/$webindex/1E3591254C5C780503257130006645B1!opendocument)