

# Manejo de la Fertilización en Maíz

- Ing. Agrs. Ricardo Melgar y Martín Torres Duggan  
Proyecto Fertilizar  
INTA Pergamino,  
Buenos Aires

*El manejo eficiente de la nutrición en el cultivo de maíz es fundamental para alcanzar rendimientos elevados, sostenidos en el tiempo, y resultados económicos positivos. Los nutrientes que limitan en mayor medida la productividad del cultivo en la Región Pampeana son el nitrógeno, el fósforo y más recientemente el azufre.*

*El objetivo de esta revisión es definir los criterios para elaborar un plan de fertilización en maíz considerando esos tres nutrientes esenciales*

- El manejo nutricional es uno de los pilares fundamentales para optimizar el resultado de los sistemas de explotación de maíz en la región pampeana. En un establecimiento agropecuario, la fertilización representa una tecnología más que debe ser integrada dentro del proceso de producción. Por ello, para que la utilización de esta herramienta impacte de manera favorable en los resultados técnico-económicos de la empresa, es fundamental que exista un proceso de planificación y programación de la producción, dentro del cual se deberá definir un plan de fertilización. Es muy importante que las estrategias de fertilización se definan a nivel de lote al igual que se hace, por ejemplo, con la elección de los híbridos utilizados o el manejo de herbicidas. Cada lote posee características intrínsecas provenientes de la interacción compleja del tipo de suelo, antecedentes (historia agrícola, cultivos antecesores, manejo de labores, etc.) y el efecto del clima local. Asimismo, la unidad de producción no debería ser el cultivo sino la rotación en su conjunto. Dentro de este esquema, el rendimiento esperado es el factor determinante de todo el programa de fertilización.

## DETERMINACIÓN DE UN PLAN DE FERTILIZACIÓN

El proceso de planificación de la fertilización podría dividirse en varias etapas:

### Muestreo y análisis de suelos

El análisis de suelos es una práctica básica para determinar la fertilidad actual y potencial de cada lote. El objetivo de efectuar este análisis es determinar la oferta de nutrientes del lote, para que junto con la extracción de nutrientes (demanda) se pueda efectuar un balance y establecer las cantidades de fertilizantes a agregar.

De la precisión del muestreo dependerá la utilidad y valor de los resultados obtenidos en el análisis de suelo. Por ello, es importante efectuar el muestreo considerando la variabilidad espacial y temporal presente en el lote, procurando tomar muestras en zonas representativas homogéneas y evitando mezclar muestras de suelo de zonas diferentes. La intensidad de muestreo dependerá del nutriente a evaluar y de la variabilidad particular del lote; por ejemplo, un muestreo para evaluar el nitrógeno disponible como nitratos requiere más densidad de observaciones que para determinar potasio o magnesio. A modo orientativo, se debería realizar por lo menos 20-30 piques por cada muestra compuesta. Si el lote es relativamente parejo, esa muestra podría representar 40-50 ha. La frecuencia cada vez mayor de lotes bajo siembra directa por un período largo de años hace que se deban extremar precauciones para tomar una muestra representativa, por la estratificación en el perfil y presencia de bandas de fertilización más antiguas.

La incidencia económica de su utilización

es muy baja (del orden de 1\$/h) y brinda información altamente rentable, ya que un buen diagnóstico de la fertilización puede modificar el costo del uso de fertilizantes y el beneficio derivado de su respuesta en una magnitud que representa varias veces el costo del análisis.

#### *Diagnóstico de la fertilización*

El proceso de diagnóstico se efectúa analizando en forma integral los resultados provenientes del análisis de suelo en conjunto con las características de calidad de cada lote (rotación, cobertura de rastrojos, antecesores, historia agrícola, aspectos físicos, etc.) y el clima local. Para la etapa de diagnóstico de fertilización es importante disponer de información histórica

propia de cada lote (rindes, resultados de análisis de suelos históricos, tecnología aplicada, etc.) y de ensayos realizados en el propio campo o eventualmente en la zona. De esta manera se puede saber si la información obtenida es representativa de las condiciones locales y por ende valiosa para considerarla dentro del manejo nutricional.

Para el maíz con rendimientos corrientes, específicamente debe considerarse que el nivel crítico de fósforo asimilable debe ser inferior a 20 ppm (Bray 1) para recomendar el uso de fertilizantes. Valores superior a ese nivel ameritan el uso de fertilizantes solo si se desea cubrir los requerimientos de un cultivo subsiguiente, si se esperan rendimientos superiores al promedio o sim-



- El rendimiento esperado es el factor determinante de todo el programa de fertilización.



- En un establecimiento agropecuario, la fertilización representa una tecnología más que debe ser integrada dentro del proceso de producción.

plemente se desea reponer el fósforo que se exportará con esa cosecha.

Por otro lado, es importante precisar los objetivos de producción para la campaña que se está planificando y la estrategia definida deberá tener coherencia con esa meta de producción. Esto es específico para el manejo del nitrógeno como se verá más adelante, ya que la dosis de este nutriente es directamente dependiente del rinde esperado.

#### *Diseño del plan de fertilización*

Una vez realizado el diagnóstico (en el cual se debería establecer la necesidad o no de fertilizar y, en el caso de hacerlo, las cantidades de nutrientes a aplicar) es necesario armar un plan de fertilización ajustado a cada lote. Este plan consiste en la definición de las cantidades y tipos de fertilizantes a aplicar, así como del momento y tecnología de aplicación para satisfacer las necesidades del cultivo. En la determinación de estos aspectos intervienen diferentes factores: operativos (disponibilidad de máquinas, piso en los lotes, etc), económicos (disponibilidad de fertilizantes en la zona, precio por unidad de nutriente del fertilizante, etc) y ambientales (distribución e intensidad de lluvias, temperatura, etc).

#### *Ejecución y monitoreo del plan de fertilización*

La ejecución es la implementación efectiva en la práctica del plan definido. Sin duda, a medida que se va ejecutando pueden surgir cuestiones no previstas durante la planificación que requieren del ajuste según el nuevo escenario, por ejemplo, lluvias menores a las pronosticadas o cambios de precios del grano que inciden en la dosis aplicada.

#### *Evaluación y análisis de los resultados del plan de fertilización*

Una vez ejecutado el plan es necesario analizar y evaluar si la estrategia de fertilización utilizada funcionó y con que grado de eficiencia. Para poder hacerlo, se debe contar con alguna parte del lote dejada como testigo con la práctica tradicional o, por ejemplo, sin fertilización, y puede ser solamente una franja del ancho de una maquina. En el mejor de los casos se pueden realizar algunas pruebas o ensayos más elaborados.

#### **MANEJO DE LA FERTILIZACIÓN FOSFATADA**

A diferencia de lo que ocurre con el nitrógeno, al abordar la fertilización fosfatada en maíz hay que considerar que el funcionamiento del fósforo (P) en el sistema suelo-planta es totalmente diferente al del

nitrógeno. Desde el punto de vista del manejo nutricional, el principal aspecto a considerar es su baja movilidad en el suelo - lo hace principalmente por difusión - y la presencia de retención específica de los fosfatos en las arcillas, cuya magnitud depende de la cantidad y mineralogía de esta fracción. Por otro lado, el pH es un factor que impacta considerablemente sobre la disponibilidad de fósforo. La mayor disponibilidad ocurre con pH's entre 5.5 y 6.5, mientras que en valores fuera de este rango su concentración en la solución del suelo se reduce significativamente.

Las consideraciones previas tienen implicancias muy relevantes en el manejo de la fertilización. Así, la baja movilidad del fósforo (P) permite independizarnos del efecto del clima (lluvias) sobre la dinámica del nutriente en el suelo, con pérdidas por lavado y escorrentía mínimas desde el punto de vista práctico, siempre y cuando no haya erosión hídrica. Esto determina que haya residualidad del efecto de la fertilización, es decir que parte del fósforo aplicado queda disponible para próximos cultivos de la rotación.

La determinación de la dosis de fósforo aplicada dependerá principalmente del nivel de disponibilidad y, secundariamente, de otros factores como el potencial de rendimiento, aplicación para otros cultivos de la rotación, colocación en bandas o voleo, fitotoxicidad de la mezcla que contenga el fertilizante fosfatado, etc. En la tabla 2 se presentan dosis orientativas de P según el nivel del nutriente en el suelo y niveles de producción medias.

Los umbrales de P Bray I (0-20 cm) por debajo del cual existen altas probabilidades de obtener aumentos considerables de rendimiento por fertilización están en el orden de 18 a 20 ppm. Por encima de estos niveles las probabilidades de obtener aumentos significativos de rendimiento por agregado de fósforo son bajas. Este rango de suficiencia no ha sufrido grandes modificaciones desde su publicación hace más de cincuenta años y ha sido validada en numerosos ambientes, incluidas las regiones maiceras del país. Sin embargo, y a pesar de su amplia difusión, no existen calibraciones de las dosis recomendadas

como la presentada en la Tabla 1, elaboradas siguiendo un criterio de reposición.

- Tabla 1. Dosis de fosfatos (como pentóxido: P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) recomendadas según nivel de disponibilidad de fósforo en el suelo (P-Bray I, 0-20 cm) para dos rendimientos esperados de maíz (Echeverría y García, 1998).

Rinde esperado Kg/ha	Nivel de P del Suelo			
	5	5-9	9-13	13-20
7,000		71	58	49
10,000	89	76	67	56
13,000	107	95	86	73

*Para expresar en kg/ha de fosfato diamónico o superfosfato triple multiplicar por 2,2*

La necesidad de disponibilidad del fósforo durante los estadios iniciales determina que el momento de aplicación de los fertilizantes fosfatados debe ser junto con la siembra, aplicándolo en bandas y preferentemente por debajo y al costado de la línea de siembra. Ocasionalmente, si no se dispone de una sembradora con trenes de fertilización separados, puede colocarse el fertilizante junto con la línea de semillas; si el fertilizante no tiene una alta proporción de nitrógeno, y las dosis no son demasiado altas, no hay riesgo de pérdidas de plantas por fitotoxicidad. Se estima entre 20 y 30 kg/ha de N aplicado junto con la semilla, en espaciamientos de 70 cm como límite de tolerancia para evitar efectos fitotóxicos durante la implantación del cultivo.

En suelos con niveles medios a altos de fósforo disponible P normalmente puede recomendarse aplicaciones al voleo. Respecto de las fuentes fosfatadas disponibles en el mercado, puede optarse entre los superfosfatos, simple o triple, y los fosfatos de amonio, mono o diamónico. Todos tienen el P soluble en agua e inmediatamente disponible y varían en el nutriente acompañante, azufre en el superfosfato simple y cantidades variables de N en los fosfatos de amonio. Su elección dependerá principalmente de la necesidad de estos nutrientes acompañantes y de su disponibilidad comercial.

En los últimos años se ha difundido en el mercado de fertilizantes las mezclas físicas multinutrientes, tanto en bolsas como a granel. Todas estas mezclas poseen en su



- Una vez realizado el diagnóstico (en el cual se debería establecer la necesidad o no de fertilizar y, en el caso de hacerlo, las cantidades de nutrientes a aplicar) es necesario armar un plan de fertilización ajustado a cada lote.

composición fertilizantes simples como los mencionados previamente y para su manejo valen las mismas pautas efectuadas para los demás fertilizantes.

#### MANEJO DE LA FERTILIZACIÓN NITROGENADA

El maíz requiere alrededor de 20 a 25 kg/ha de nitrógeno (N) por cada tonelada de grano producida. Por ejemplo, para producir 10 t/ha de grano el cultivo debería disponer de alrededor de 200 a 250 kg de N/ha absorbidos por el cultivo. Esta cantidad sería la demanda de nitrógeno para este nivel de rendimiento. La oferta del lote (nitrógeno en el suelo + N del fertilizante) debería satisfacer esa necesidad para mantener el sistema en equilibrio nutricional. Esta aproximación es lo que se conoce como criterio o modelo de balance. Sin embargo, la diferencias entre las cantidades de N en el suelo y las absorbidas por el cultivo son determinadas por las llamadas eficiencias de absorción, que varían según se considere al N presente en el suelo a la siembra, al N mineralizado durante el cultivo y al N aportado como fertilizantes.

Diferentes ensayos realizados en la región pampeana indican que para maximizar los rendimientos del cultivo la oferta del suelo debería ser del orden de los 140 a 150 kg/ha. Sin embargo, estos rangos de nitrógeno presentan variaciones regionales, definidas por el potencial de rendimiento. Asimismo, en sistemas más

intensivos, bajo riego y mayor desarrollo tecnológico los rendimientos potenciales serían mayores y por ello la oferta de nitrógeno para cubrir la demanda del cultivo sería superior, llegando hasta 200 o 250 kg/ha.

Esta llamada oferta en realidad es el nitrógeno asimilable (nitratos más amonio) medido por análisis de suelo presente al momento de la siembra más el nitrógeno ofrecido de los fertilizantes, pero no considera al N que se mineraliza durante el ciclo del cultivo. Este dato es muy difícil de evaluar ya que depende de las condiciones climáticas y del suelo, que a través de las variaciones de humedad y temperatura modifican la velocidad de nitrificación. En general, para hacer los balances se trabaja sobre valores promedios y se asigna una eficiencia igual a uno, es decir que los nitratos que se producen son absorbidos inmediatamente sin pérdidas. Para tener una idea de ese potencial de mineralizar N, se evalúa la concentración de nitratos de la capa superficial hasta los 20 a 30 cm de espesor al momento que el cultivo está en el estadio de 4 a 6 hojas. Este valor se correlaciona con la estimación de potencial de nitrificación, ya que los presentes a la siembra habrán sido absorbidos o bien lavados fuera del alcance de las raíces. Por otra parte, ese valor tendrá relación directa con la temperatura y humedad que reguló el crecimiento del maíz hasta el estadio de 4 a 6 hojas. En varias regiones maiceras se ha establecido que un valor de alrededor de

18 a 20 ppm de N de nitratos ( $\text{N-NO}_3^-$ ) en esas condiciones es indicador de suficiencia, ofreciendo bajas posibilidades de respuesta económica al agregado de N como fertilizante.

Las posibles pérdidas de nitrógeno son contempladas en la eficiencia de uso, normalmente oscila alrededor del 50 % con máximos de 70 %, si se aplica durante los momentos de máxima capacidad de absorción, en dosis no excesivas, proporcionales a su utilización y con fuentes de bajo potencial de volatilización como amoníaco. El maíz comienza su mayor consumo de nitrógeno alrededor de seis hojas completamente expandidas (V-6 a V-7). Por ello, antes de que comience esta etapa fenológica, el cultivo debería de disponer de una oferta de nitrógeno adecuada que satisfaga su demanda para el crecimiento.

Las estrategias de fertilización podrían resumirse en tres:

- 1-Fertilizar únicamente a la siembra o incluso antes.
- 2-Fertilizar sólo con el cultivo implantado entre dos y siete hojas (V-2 a V-6).
- 3-Fraccionar la dosis entre la siembra y V-7 en dos aplicaciones.

De las tres alternativas, la aplicación a la siembra integra globalmente ventajas en los aspectos operativos, agronómicos y económicos. Sin embargo, los equipos de siembra que disponen de doble cajón fertilizador para colocar separadamente al nitrógeno fuera de la línea de semillas no son abundantes.

Por esa razón, serían más recomendables las aplicaciones fraccionadas, donde se garantice una gran parte de la necesidad total de nitrógeno a la siembra (70 a 80 %), regulando luego la cantidad de nitrógeno restante en función de la evolución de la campaña y de las posibilidades ofrecidas por las condiciones climáticas. Muchas veces, al coincidir la primavera lluviosa con ese período, se pierde la oportunidad y el follaje avanza impidiendo una fácil circulación entre líneas agravada por la tendencia creciente a sembrar con espaciamiento de 52 cm. Una recomendación intermedia en este sentido es fraccionar en dos veces pero aplicando la mayor proporción del N

en estadios muy tempranos hasta 3 hojas, cuando la planta es flexible y admite el tráfico de maquinaria de aplicación con cubiertas de alta flotación

En la tabla 2 se resumen las ventajas y desventajas de cada modalidad de aplicación. También se ha cuestionado cuál es el valor que efectivamente se pierde del N aplicado en presiembra; descontando que, aún cuando haya lixiviación, un frente de lavado de nitratos nunca va tan lejos en profundidad; en particular considerando las texturas franco limosas de los Argiudoles pampeanos como para que no lo alcancen las raíces durante el desarrollo del cultivo.

#### MANEJO DE LA FERTILIZACIÓN AZUFRADA

En los últimos años se han presentado numerosas evidencias que demuestran aumentos de rendimiento por agregado de azufre como fertilizante. Estas respuestas son más frecuentes en lotes con alto potencial de rendimiento y que presentan respuestas importantes a nitrógeno y fósforo. No se han intentado correlaciones entre estas respuestas y los niveles de azufre de sulfatos ( $\text{S-SO}_4^{=}$ ) sin embargo es posible inferir mayores posibilidades de respuesta con valores bajos, menores a 5 ppm. Así, como con suelos degradados, con baja materia orgánica (MO) o baja relación MO/arcillas (indicador de baja proporción de MO joven o recientemente agregada), o con textura gruesa.

La magnitud de las respuestas dependerá de la fertilidad del lote y dosis utilizada. En términos generales, la misma suelen cubrir el costo del fertilizante aplicado. Las respuestas son del orden de los 10-12 kg de maíz por kg de S/ha y las dosis asociadas a los máximos rendimientos son de entre 5 y 15 kg de S/ha como Sulfato. Sin embargo, en algunos trabajos se encontraron respuestas a dosis más altas en buenas condiciones hídricas, como la presentada en la figura, promedio de cinco localidades.

#### ANÁLISIS ECONÓMICO DE LA FERTILIZACIÓN

No hay práctica de manejo del maíz que tenga más impacto en los resultados económicos como la fertilización en suelos

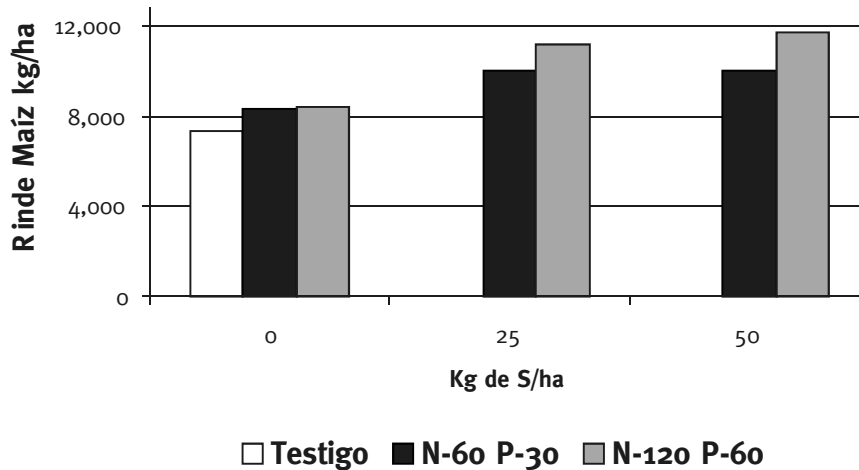
deficientes, ya sea nitrogenada, fosfatada o azufrada, siempre y cuando las condiciones hídricas sean las adecuadas.

Utilizando el criterio de la relación Valor / Costo ( ó Beneficio/ Costo) y tomando los valores de los insumos y productos en dólares - que muestran relativa estabilidad en el tiempo por su carácter de genéricos (*commodities*) - se presenta en la tabla 3 los beneficios derivados de la fertilización ante situaciones de respuestas promedio. Estas respuestas son esperadas bajo regímenes de producción normal, en dosis moderadas promedio. Las relaciones son,

sin duda, altamente positivas y superiores a la unidad, y se espera que disminuyan a medida que las dosis sean más elevadas.

Se toma el costo del nutriente por la fuente más barata: urea (46% N), Fosfato monoamónico (52% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) y Sulfato de amonio (24% de S), a valores de mercado de 260, 310 y 180 \$/t respectivamente. Por poseer además N, el costo del S y del P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> de los fertilizantes nombrados se modifican proporcionalmente.

Se toma el precio de 80 \$/t descontados gastos de comercialización (25%). ●



● El análisis de suelos es una práctica básica para determinar la fertilidad actual y potencial de cada lote.

● Tabla 2. Ventajas y desventajas de diferentes momentos de fertilización con nitrógeno (N) en maíz

Momento	Ventajas	Desventajas
<b>Presiembra</b>	Simplicidad operativa	Riesgo de lavado de nitratos hasta desarrollo de las raíces. No recomendable antes de 30 días de la siembra.
<b>A la siembra</b>	Simplicidad operativa El N queda disponible inmediatamente para el cultivo. Facilidad para incorporar al suelo.	Riesgo de lavado (lixiviación) de nitratos hasta desarrollo de raíces. Riesgo de fitotoxicidad en aplicaciones junto con la semilla. Depende de dosis y ambiente.
<b>Entre 2 y 8 hojas (V-2 y V-8)</b>	Mayor eficiencia de utilización con fuentes de fertilizantes que no volatilizan	Si no se incorpora al suelo, hay riesgo de pérdida de N por volatilización de amoníaco (fertilizantes con urea). Depende del ambiente (temperatura y humedad de suelo) Dependencia de las lluvias que a veces ocasiona retrasos o imposibilidad de aplicar por falta de piso (común en ciclos húmedos como el actual).
<b>Fraccionada</b>	Necesaria para aplicar dosis elevadas. Distribuye y reduce el riesgo económico de la práctica.	Mayor complejidad operativa. Mayores costos de aplicación

● Tabla 3. Beneficio económico derivado de la fertilización con distintos nutrientes en maíz

Nutriente	Costo <sup>1</sup> \$/kg	Beneficio (Respuesta)		V/C
		kg grano/kg nutriente	Ingreso Bruto \$ <sup>2</sup>	
Nitrógeno	0,56	25	1,5	<b>2.7</b>
Fósforo	0,49	16	1,0	<b>2.0</b>
Azufre	0,40	10	0,6	<b>1.5</b>

1 Se toma el costo del nutriente por la fuente más barata: urea (46 % N), Fosfato monoamónico (52 % P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) y Sulfato de amonio (24 % de S), a valores de mercado de 260, 310 y 180 \$/t respectivamente. Por poseer además N, el costo del S y del P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> de los fertilizantes nombrados se modifican proporcionalmente.

2 Se toma el precio de 80 \$/t descontados gastos de comercialización (25%).

#### Bibliografía

- Echeverría, H. y F. García, 1998. Guía para la fertilización fosfatada de trigo, maíz, girasol y soja. Boletín Técnico No. 149. EEA INTA Balcarce. Centro Regional Buenos Aires Sur. ISSN 0522-0548.
- García, F. 2002. Manejo de la fertilidad de suelos y fertilización para altos rendimientos en la región pampeana Argentina. 4<sup>º</sup> Conferencia Fertilizantes Cono Sur. British Sulphur. Porto Alegre Brasil 18-20 Noviembre.
- Caamaño, A. y R. Melgar, 1998. Fertilización con nitrógeno, fósforo y azufre en maíz de alta productividad. Est. Exp. Ag. Pergaminito Rev. Tecnología Agropecuaria V II N<sup>º</sup> 5 p 11-14.
- Alvarez, R., Alvarez, C. R., Steinbach, S. 2000. Fertilización de trigo y maíz. Ed. Hemisferio Sur. 95 pág.