

## **Criterios de Fertilización Fosfatada en Sistemas de Agricultura Continua con Maíz y Soja en el Cinturón del Maíz**

**Antonio P. Mallarino**  
**Departamento de Agronomía, Iowa State University**  
**apmallar@iastate.edu**

### **Introducción**

La investigación ha dedicado grandes esfuerzos al estudio del manejo de fósforo (P) y potasio (K) para cultivos en el cinturón maicero de los Estados Unidos desde la introducción del maíz híbrido en la década del 50 y la expansión de la soja a fines de década de los '60. Sin embargo, el enfoque de la investigación y los problemas a resolver han cambiado recientemente porque las condiciones de la producción han cambiado. Uno de los cambios es que la mayoría de los campos (especialmente de los buenos productores), ya tienen niveles de P y K óptimos o mayores. Los objetivos prioritarios de la investigación y la extensión agrícola en estas condiciones, son diferentes a las condiciones donde predominan deficiencias. El trabajo se enfoca especialmente en encontrar y difundir métodos eficientes de fertilización para mantener niveles óptimos de fertilidad y productividad. Otro cambio importante se relaciona a la introducción o adopción en gran escala de nuevas tecnologías. Una de ellas es la expansión de sistemas de laboreo conservacionista. Otra tecnología involucra las técnicas de agricultura de precisión, las cuales están cambiando profundamente los sistemas de muestreo de suelo y de aplicación de fertilizante. Es posible que prácticas de fertilización recomendadas para sistemas convencionales no sean apropiadas, cuando se usan alguna de estas nuevas tecnologías.

El objetivo de esta presentación es discutir conceptos actuales de manejo de fertilidad y resultados de investigación para P para la producción de maíz y soja en la zona húmeda del cinturón del maíz, especialmente en Iowa. La discusión enfoca prácticas de manejo recomendadas, prácticas usadas por los productores y las razones para su uso. Un análisis objetivo de estas prácticas y los conceptos en que se basan puede ser útil para productores y técnicos de otras regiones. Sin embargo, el material presentado debe interpretarse críticamente ya que prácticas y filosofías adecuadas para el cinturón del maíz de los EEUU no deben extrapolarse directamente a otras regiones.

### **Clima, suelo y prácticas comunes de fertilización**

La interpretación correcta de conceptos y resultados de investigación requiere conocer, aunque sea en una forma general, el clima, los suelos y las prácticas de manejo de cultivos de la región. El clima es continental húmedo y los suelos son especialmente apropiados para la producción de maíz y soja en el cinturón maicero. En Iowa, caen aproximadamente 750 a 1100 mm de lluvia (disminuye de este a oeste), y se distribuyen en forma bastante uniforme de primavera a otoño. Hay muy poca precipitación en forma de nieve durante el invierno. El riego se justifica económicamente en la zona oeste de la región y en pequeñas áreas aisladas con suelos arenosos. La alta capacidad de los suelos de acumular agua, la gran profundidad de arraigamiento y las lluvias, evitan deficiencias hídricas frecuentes a pesar de la alta evapotranspiración durante el verano. La cubierta de nieve y los suelos congelados, hacen imposible el laboreo o el crecimiento vegetal desde diciembre hasta fines de marzo. El maíz y la soja se siembran desde mediados de abril a mediados de mayo. La estación de crecimiento no permite el doble cultivo. A la siembra, los suelos normalmente están húmedos y con suficiente acumulación de agua debido al derretimiento de la nieve y las lluvias tempranas.

La mayoría de los suelos de la región (Iowa, el sur Minnesota, Illinois, y el este de Nebraska), son poco evolucionados siendo en general Molisoles (Udoles), aunque hay algunos Alfisoles (Udalfes). Típicamente, los primeros 20-30 cm de las series dominantes tienen de 3 a 6% de materia orgánica, 20 a 30 % de arcilla (con predominancia de illita), pH entre 5.8 y 7, y no hay horizontes subsuperficiales con alto contenido de arcilla o impermeables. El material formador del suelo es loes o loes retransportado por glaciares de distintas edades, tienen textura franca o franco-limosa que permite buen arraigamiento. La mayoría de los campos ubicados en zonas bajas y planas tienen sistemas de drenaje subsuperficial para aliviar excesos de agua. Casi todos los suelos eran originariamente muy deficientes en P, pero la fertilización durante muchos años ha subido los niveles en muchos suelos a valores óptimos o altos. Las aplicaciones de fertilizante en general se hacen al voleo en otoño inmediatamente después de la cosecha,

antes de que nieve o se congele el suelo. La aplicación de fertilizante granulado con la sembradora prácticamente no se usa y pocos productores aplican fertilizante starter líquido al momento de la siembra. La fertilización con tanta anterioridad a la siembra se debe a varias razones, pero especialmente a que los productores tienen tiempo para hacerlo en esta época y en primavera los suelos están muy húmedos casi hasta la fecha de siembra.

### Interpretación del análisis de suelo y recomendaciones de fertilización

Los productores del cinturón maicero no tienen dudas acerca de la utilidad del análisis de suelo para P y K. Unos 15 laboratorios privados y un laboratorio estatal, analizan 150000 a 200000 muestras de suelo por año en Iowa, que tiene solo una superficie total de 145000 km<sup>2</sup>. Existen calibraciones para varios análisis de suelo de P y K y para varios cultivos, las que son apoyadas por muchos años de investigación que aun hoy continúa. La Tabla 1 muestra como ejemplo las interpretaciones de análisis de suelo para P y las recomendaciones de fertilización para maíz y soja de Iowa. Calibraciones y recomendaciones similares se usan para K, las que no se discutirán en este artículo.

Algunos aspectos de las recomendaciones que se resumen en la Tabla 1 y que son interesantes para discutir incluyen el significado o razones para las clases interpretativas, la clasificación para diferente contenido de P en el subsuelo, la nota respecto al nivel de rendimiento asumido y la recomendación para la rotación; así como la base para definir las dosis recomendadas.

Tabla 1. Resumen de las interpretaciones de análisis de suelo y recomendaciones de fertilización para un cultivo de maíz y soja en Iowa.

Método de Análisis	Fósforo Disponible: Categoría y Clases				
	Muy bajo	Bajo	Optimo	Alto	Muy alto
Bray-1 o Mehlich-3 Colorimétrico	-----Pdisponible (ppm a 15 cm) -----				
Subsuelo bajo en P	0-8	9-15	16-20	21-30	31+
Subsuelo alto en P	0-5	6-10	11-15	16-20	21+
Mehlich-3 ICP					
Subsuelo bajo en P	0-15	16-25	26-35	36-45	46+
Subsuelo alto en P	0-10	11-20	21-30	31-40	40+
Olsen:					
Subsuelo bajo en P	0-5	6-10	11-14	15-20	21+
Subsuelo alto en P	0-3	4-7	8-11	12-15	16+
	Dosis de Fertilizante a Aplicar				
Cultivo	----- Kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /ha -----				
Maíz	100	75	55 <sup>a</sup>	0 <sup>b</sup>	0
Soja	90	60	40 <sup>a</sup>	0 <sup>b</sup>	0
Rotación	160	115	95 <sup>a</sup>	0 <sup>bc</sup>	
a: La recomendación para la clase Optimo asume el rendimiento promedio en el estado (9400 y 3360 kg/ha para maíz y soja, respectivamente), y debe ajustarse en cada caso.					
b: Puede aplicarse fertilizante starter con suelo muy húmedo y frío o cubierto de residuos.					
c: Puede aplicarse la mitad de la dosis recomendada para la clase Optima					

Las clases interpretativas están basadas en la probabilidad y magnitud de la respuesta en rendimiento a la fertilización de acuerdo a los niveles del análisis de suelo. La denominación de las clases asume que la probabilidad de respuesta es >80%, 65%, 25% y 5% para las clases Muy Baja, Baja, Optimo y Alto, respectivamente. Un ejemplo de las calibraciones de campo disponibles se muestra en la Figura 1.

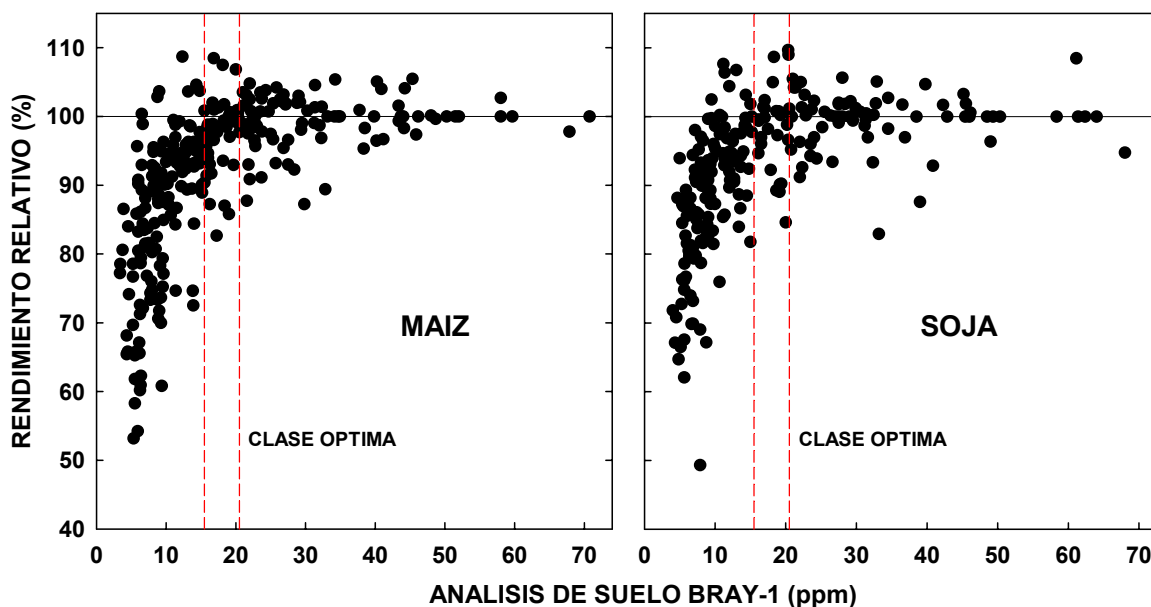


Figura 1. Relación entre el P disponible (P Bray I en ppm a 0-15 cm) y el rendimiento relativo de maíz y soja en Iowa. Fertilización de mantenimiento se recomienda para la clase interpretativa Óptima.

Las clases son diferentes de acuerdo al nivel de P del subsuelo. Datos de campo sugieren que en muchas condiciones se necesita menos cantidad de P o K en los primeros cm del suelo cuando el subsuelo (de 70 a 100 cm de profundidad) tiene naturalmente niveles altos de esos nutrientes. Los resultados de muchos ensayos de calibración publicados y otros en curso demuestran que las recomendaciones actuales son conservadoras en el sentido de mantener el nivel Óptimo porque la probabilidad de respuesta es muy baja. Análisis económicos de retornos netos a la fertilización en el corto plazo (datos no mostrados) a partir de los datos en la Figura 1, muestran que la probabilidad de respuesta económica es muy alta en las clases bajas pero prácticamente nula en la clase Óptimo. En promedio, el retorno neto a una fertilización de mantenimiento para la clase Óptimo es cero o muy pequeño.

Respecto a los otros aspectos, en pocas palabras puede decirse que la explicación radica en que el concepto fundamental para las interpretaciones y recomendaciones se basa en una combinación de los conceptos de "nivel de suficiencia" y "subir y mantener". Es importante entender esta filosofía cuando más adelante se discutan recomendaciones respecto a la localización de fertilizante.

En su forma estricta, el concepto de nivel de suficiencia establece que hay un nivel de nutriente por debajo del cual hay respuesta a la fertilización, cada nutriente tiene su nivel de suficiencia y deficiencia, se fertiliza cada cultivo con la dosis óptima de acuerdo al nivel de cada nutriente y se reconoce que la dosis óptima de un nutriente puede ser afectada por el nivel de otros. El concepto de subir y luego mantener se basa en el poder residual de los fertilizantes fosfatados y potásicos y establece que si el nivel es por debajo del nivel óptimo se fertiliza no solo para alcanzar el máximo rendimiento sino para subir el nivel de nutriente disponible hasta el óptimo nivel en un plazo determinado. En algunos casos se interpreta mal este concepto y se recomienda fertilizar con lo que el cultivo va a remover en el grano cosechado aun cuando los niveles de nutriente en el suelo sean altos y la probabilidad de respuesta sea casi nula.

En la mayoría de los estados de la región, las filosofías para la interpretación del análisis de suelo y la fertilización son bastante similares e intermedias entre los clásicos conceptos de nivel de suficiencia y subir y mantener. Las recomendaciones que se hacen para las clases bajas incluyen no sólo la dosis que daría el máximo rendimiento económico en la mayoría de las condiciones, sino que incluye un componente para subir el nivel paulatinamente. No se recomiendan las dosis que subirían el nivel de

nutriente hasta la clase Optimo con una sola aplicación. En algunos estados se especifica la proporción de la dosis que mantendría el nivel inicial de nutriente y la proporción para lograr la máxima respuesta y subir el nivel. En Iowa, las dosis recomendadas son las estimadas para alcanzar el máximo rendimiento en la mayoría de los casos y se estima que ese manejo subiría el nivel de nutriente al nivel de la clase Optimo en un período de cuatro a seis años. Las estimaciones de las dosis de fertilización se obtienen de ensayos de respuesta regionales de corta y larga duración.

En Iowa, el nivel de rendimiento esperado no se considera para las recomendaciones correspondientes a las clases Muy Baja y Baja. Sin embargo, la dosis de mantenimiento para la clase Optimo está basada exclusivamente en la remoción promedio de P en el grano (o planta en el caso de ensilaje o heno). Esto es un aspecto muy importante de la filosofía de fertilización en la mayor parte de los Estados Unidos y daría para mucha discusión que no es posible en este resumen. En gran parte de la zona oeste del cinturón maicero, la dosis de aplicación y la remoción de P con la cosecha son los dos factores más importantes que determinan la evolución de los niveles de P y K en los suelos. En esta región, la variación de tipo de suelo no es importante, y si hay un efecto del tipo de suelo es en gran parte debido a diferencias en los niveles de rendimiento. Resultados de ensayos de larga duración en diferentes suelos y subzonas climáticas con diferente productividad son la base de esta recomendación. Este tipo de información es útil porque permite estimar la cantidad de fertilizante a agregar para llegar a un nivel deseado de nutriente, pero también la cantidad a agregar periódicamente para mantener el nivel deseado. Los experimentos muestran que las necesidades de mantenimiento son mayores cuanto más altos son los niveles de P o K a mantener.

Otro aspecto importante que se muestra en la Tabla 1 es que también se recomienda la aplicación cada dos años de una dosis de fertilizante que contempla los requerimientos para el maíz y la soja en la rotación. Resultados de varios ensayos de larga duración de Iowa y Minesota muestran que, en nuestras condiciones, aplicar las dosis recomendadas para cada cultivo o cada dos años tiene la misma eficiencia o las diferencias no son consistentes. Por supuesto la aplicación cada dos años baja los costos de aplicación. Esta misma eficiencia se explica por el limitado “consumo de lujo” de nutrientes en la cosecha de grano y a que los suelos tienen la usual alta capacidad de retener P pero no necesariamente de “fijar” P en formas no disponibles para las plantas en el corto o mediano plazo. La mayoría de los productores aplican antes del maíz la dosis necesaria para la rotación maíz-soja, ya sea para subir o para mantener los niveles de P y K en el suelo.

Esta filosofía del uso de análisis de suelo y del manejo de la fertilización tiene varias ventajas. Es muy sencilla, implica poco riesgo de perder posible respuesta, implica bajos costos de aplicación, es una buena opción para suelos con poca o moderada capacidad de retención de P y K, no requiere muestreos de suelo anuales. Con esta filosofía, los costos de aplicación y el tiempo dedicado al manejo son significativamente menores debido a dos razones. Una razón es que la aplicación de dosis de mantenimiento o aquellas que con seguridad producen el máximo rendimiento permiten el uso de métodos de aplicación sencillos, baratos y que requieren poca atención. Esto incluye tanto la fertilización al voleo como la aplicación de las necesidades de dos cultivos una sola vez, normalmente antes del más exigente. Sin embargo, esta filosofía puede disminuir el retorno neto por kilo de fertilizante agregado y puede que no sea una práctica recomendable en suelos con muy alta capacidad de retención de P o K o cuando la tenencia de la tierra es precaria.

Este manejo contrasta con la filosofía estricta del nivel de suficiencia. En este caso se aplica la dosis óptima que da el máximo rendimiento económico para un cultivo, mayor precisión en la recomendación, puede requerir muestreos de suelos anuales o bianuales, aumenta el riesgo de perder respuesta si se aplica menos fertilizante del que se debe y requiere más atención. Probablemente sea una buena práctica en suelos muy fijadores de P o K o cuando el productor tiene una limitante grave de dinero disponible o tenencia de la tierra precaria.

Como se mencionó anteriormente, la mayoría de los suelos del cinturón maicero que se clasificaban como muy bajos o bajos en P y K, hace 15 o 20 años ahora están en la clase Optimo o mayores. Esta situación pone en evidencia un aspecto importante de la filosofía para la fertilización que predomina en los Estados Unidos. Esto no se explica sólo por los subsidios existentes y la relación de precios. La mayoría de los productores prefieren errar por aplicar mayor cantidad de fertilizante que errar por aplicar menos de lo necesario. Esta filosofía es confirmada por algunos análisis económicos, aunque se ignora las consecuencias potenciales en cuanto a contaminación de aguas superficiales y subterráneas.

## Métodos de Aplicación de Fósforo

Las recomendaciones de métodos de aplicación de fertilizantes deben basarse en la investigación local. La discusión y ejemplos que siguen se presentan con el objetivo de demostrar cómo la filosofía de manejo de la fertilización determina en gran parte las ventajas relativas de varios métodos de aplicación de fertilizantes y el riesgo de seguir consideraciones teóricas sin confirmación a través de investigación aplicada.

Las ventajas comparativas de distintos métodos de aplicación dependen del tipo de cultivo y suelo, de la fuente del nutriente, del nivel de nutriente del suelo, del clima (especialmente el régimen de lluvias), de los costos comparativos de aplicación y de los conceptos en los cuales se basa el manejo de la fertilización y la producción de cultivos entre otros factores. En la mayor parte del cinturón maicero la forma de aplicación no ha sido un aspecto prioritario para los productores debido a la baja o moderada capacidad de “fijación” de P o K de los suelos y al bajo costo relativo de los fertilizantes y de la fertilización al voleo. La mayoría de los productores fertilizan al voleo a través de los servicios de distribuidores, muy pocos aplican ellos mismos los fertilizantes fosfatados y potásicos. Sin embargo, el uso creciente de la siembra directa y problemas de contaminación de aguas con nutrientes han planteado nuevas interrogantes.

Algunos cambios que podrían afectar a la nutrición de los cultivos manejados con laboreo conservacionista son las posibles deficiencias tempranas debido a que el suelo se calienta más lentamente en primavera y está más húmedo cuando está cubierto de residuos, y a la estratificación o acumulación a largo plazo de P y K en los primeros cm del suelo. En estos casos la teoría dice que aplicaciones bandeadas o aplicaciones al voleo combinadas con dosis bajas bandeadas podrían ser más eficientes. Las temperaturas frías provocan un atraso en la fecha de siembra óptima o una reducción del crecimiento inicial en siembras tempranas y pueden reducir la disponibilidad de nutrientes. La acumulación de nutrientes cerca de la superficie sin ninguna duda existe en suelos manejados con siembra directa o laboreo vertical y podría inducir deficiencias cuando los primeros cm de suelo están secos y las plantas están absorbiendo agua de zonas profundas. Teóricamente, la concentración de nutrientes cerca de la superficie también podría inducir sistemas radiculares más superficiales lo que aumentaría la susceptibilidad a la sequía en el verano. Este problema puede ocurrir aún cuando la mayor cobertura con residuos mejore la infiltración de agua y el crecimiento de raíces en los horizontes superficiales.

Para evitar esos posibles problemas con siembra directa se han propuesto prácticas alternativas. Una práctica incluye la aplicación de fertilizantes “starter” junto o al costado y debajo de la semilla, con al sembradora. Este método tiene el problema que no permite la aplicación de grandes cantidades de fertilizante que a veces son necesarios en suelos deficientes o con altas necesidades de mantenimiento. Esto es debido a razones prácticas (ningún productor quiere o prácticamente puede aplicar más de 25 o 30 kg de  $P_2O_5$  y  $K_2O$ /ha con la sembradora), porque puede dañar las semillas al usar la forma barata de aplicación en el surco, y porque no aplica el fertilizante a una profundidad que evita la estratificación. El uso de dosis bajas de fertilizante starter líquido para la siembra directa es común y es objeto de investigación en este momento, pero no se discute en esta presentación.

Por estas razones se han propuesto distintas formas de aplicar fertilizantes en profundidad. Sistemas que aplican bandas de fertilizantes líquidos o granulados a profundidades entre 12 y 20 cm, están siendo usados por algunos productores, aún cuando hasta hace poco tiempo no había resultados que confirmaran su ventaja. Tradicionalmente se menciona que las ventajas claras del bandeo generalmente ocurren cuando se aplican dosis menores a las óptimas y en suelos muy ácidos o calcáreos o donde la cantidad y mineralogía de la fracción arcilla conduce a alta retención de P o K. Dos problemas graves asociados a la siembra directa y la fertilización bandeada es el gran aumento de la variabilidad de los análisis de suelo debido a un error mayor en el muestreo y a la incertidumbre concerniente a la mejor profundidad de muestreo. Si bien se está desarrollando una extensa investigación para estos sistemas, no existe ningún método de muestreo alternativo a los métodos tradicionales que sea claramente mejor. Las únicas certezas son que deben sacarse muchas más muestras y tomas por muestra, y que el análisis de suelo se transforma en una herramienta menos confiable.

Los resultados de ensayos regionales recientes en Iowa y en otras zonas del cinturón maicero, muestran que el método de aplicación de P no es un problema importante para maíz y soja sembrados con siembra directa o convencional. La fertilización fosfatada bandeada (profunda antes de la siembra o a

menor profundidad con la sembradora), casi siempre estimula el crecimiento inicial y a veces adelanta la madurez fisiológica del maíz pero pocas veces aumenta el rendimiento o reduce la cantidad de fertilizante necesario comparado con la fertilización al voleo. Estos resultados sorprenden a muchos productores e investigadores de otras regiones y a los que siguen teorías ciegamente. Sin embargo aproximadamente 300 experimentos cosechados desde 1994 en Iowa dejan pocas dudas al respecto. Las dosis usadas fueron de 30 a 120 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha para las aplicaciones al voleo o bandeada profunda y de 30 a 60 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha para la aplicación en banda al costado y debajo de la semilla con la sembradora.

Los datos resumidos en la Figura 2, muestran promedios sobre todas las dosis usadas en los sitios en que hubo respuesta a P. La tercera parte de los sitios tenían suelos con menos de 20 ppm de P (método Bray-1) en muestras sacadas a 15 cm de profundidad, pero ninguno tenía menos de 5 ppm. El muestreo a profundidades de 0 a 7.5 cm y 7.5 a 15 cm mostró alta estratificación, la cual fue más marcada con la siembra directa que con el manejo de laboreo vertical. La fertilización fosfatada aumentó el rendimiento de maíz y soja solamente cuando el suelo tenía menos de unos 18 ppm de P con el método Bray-1 en muestras sacadas a 15 cm de profundidad. Los métodos de aplicación de P no afectaron (estadísticamente) los rendimientos de maíz o soja en ningún sitio. Los máximos rendimientos se obtuvieron casi siempre con la misma dosis cualquiera fuese el método de aplicación. Como ejemplo, la Figura 3 muestra la evolución de la respuesta promedio de maíz y soja a través del tiempo para un ensayo de larga duración típico en el que se comparan varias estrategias de aplicación de fertilizante fosfatado para esta rotación. Cuando los niveles de P en el suelo estaban en la clase muy baja (< 9 ppm) o en las clases altas (> 20 ppm), la profundidad de muestreo no afectó las interpretaciones. Sin embargo, en unos pocos casos la falta de respuesta de soja en suelos con P en la clase baja (9 a 15 ppm) pudo explicarse por la mayor concentración de P en el horizonte superficial.

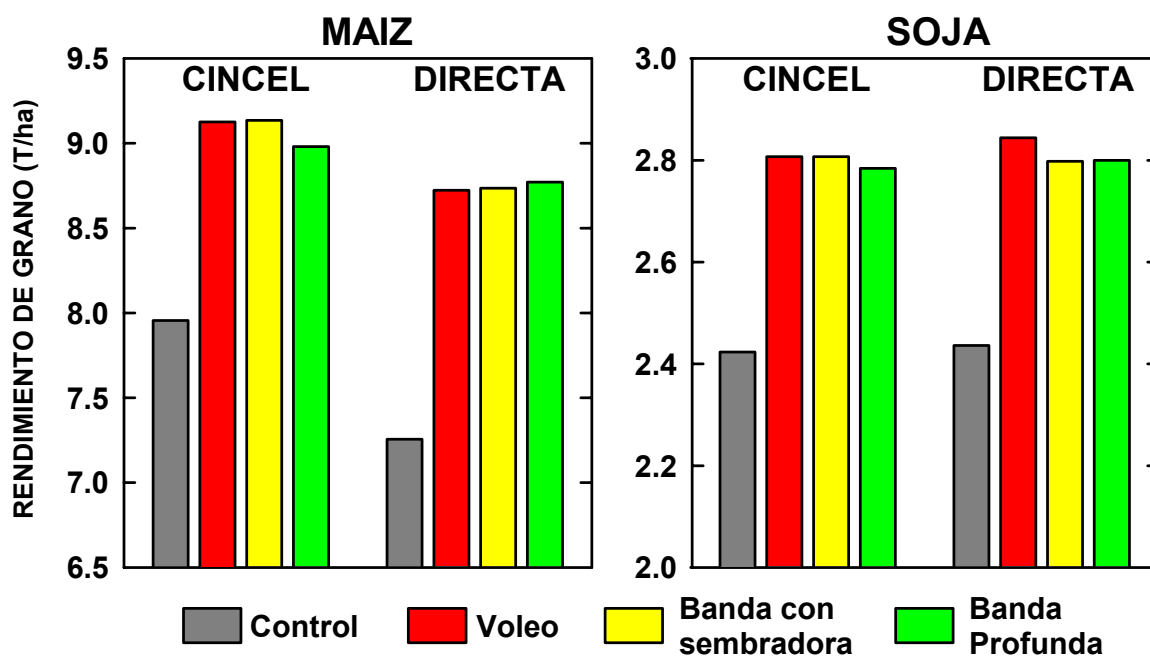


Figura 2. Efecto de la fertilización fosfatada y del método de aplicación en los rendimientos de maíz y soja manejados con dos sistemas de laboreo en Iowa (promedios de ensayos regionales donde hubo respuesta a fósforo).

Contrariamente a los resultados para P, el bandeado profundo de K a menudo aumentó el rendimiento por encima de lo logrado con fertilización al voleo o bandeado con la sembradora para maíz y soja manejados con siembra directa. Los resultados no se muestran en este artículo, pero las respuestas al bandeado profundo de K fueron mayores y más frecuentes para maíz que para soja, y se observaron tanto en suelos deficientes en K como en aquellos con niveles considerados óptimos (130 a 170 ppm o

mayor) para laboreo convencional. Sin embargo, los aumentos de rendimiento tanto de maíz como de soja, no siempre compensan los mayores costos de la aplicación profunda. Las mayores respuestas de maíz al bandeo profundo con K ocurrieron en años con un período seco cuando el maíz tenía de 0.3 a 1 m de altura. Es probable que la sequedad de los primeros cm de suelo limite la absorción de K cuando éste se aplica en superficie o en bandas cerca de la superficie. Llama la atención que esto no haya afectado a la nutrición fosfatada, pero esto también se ha observado para otros sistemas de laboreo conservacionista (como siembra en camellones) en Iowa y Minnesota.

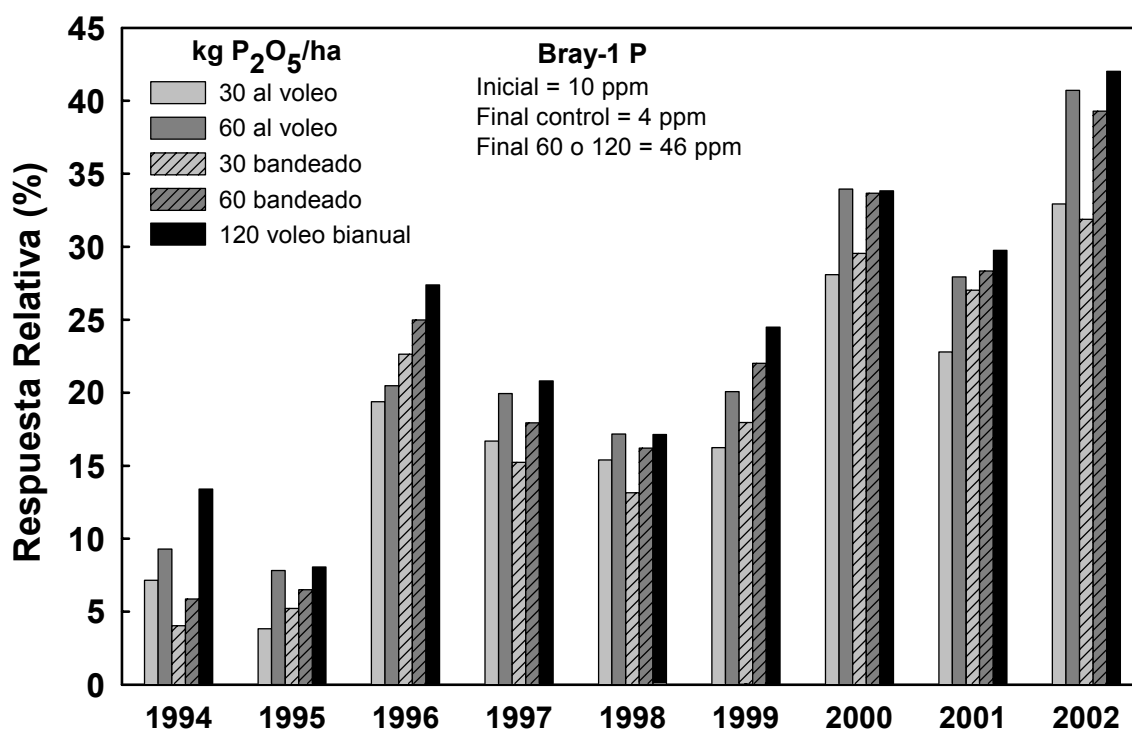


Figura 3. Efecto de estrategias a largo plazo de aplicación de fertilizante fosfatado para la rotación maíz-soja en siembra directa (promedios de dos ensayos de Iowa donde hubo respuesta a la fertilización). Los tratamientos se evaluaron en experimentos idénticos adyacentes en los cuales maíz y soja se alternaron cada año. Los datos son incrementos relativos promedios para los dos cultivos expresados con relación al control no fertilizado.

La fertilización y el método de aplicación de P afectaron ligeramente al crecimiento inicial de soja y afectaron marcadamente al de maíz. Tanto el bandeo profundo como con la sembradora, estimularon el crecimiento inicial más de lo que lo hizo la fertilización al voleo. Si bien esto es de esperar en suelos deficientes en P, el bandeo también aumenta notablemente el crecimiento inicial de maíz en suelos con alto nivel de P donde no hay respuesta en rendimiento. Es posible que el efecto del bandeo de P en el crecimiento inicial sea beneficioso para la producción de grano en algunas condiciones especiales. Por ejemplo, en condiciones extremas de deficiencia, donde el control de malezas no es adecuado, o con estaciones de crecimiento muy cortas.

Obviamente los resultados mencionados no confirman la creencia general respecto a la necesidad y ventaja económica del bandeo de P para siembra directa en regiones con suelos y clima similares a los de los ensayos discutidos. Pequeñas ventajas del bandeo no compensan los mayores costos de aplicación ni las inconveniencias prácticas. Varias razones pueden explicar este resultado ya sea para siembra directa o con laboreo vertical. Una razón puede ser que ninguno de los suelos tenía contenido de P extremadamente bajos. Es de esperar que el bandeo sea más eficiente en suelos extremadamente

deficientes y cuando se usan dosis bajas de fertilizante. Otra razón puede ser que los suelos no son muy "fijadores" de P. Pero las características de los suelos son similares a los de otras regiones en donde en el pasado se le ha dado mucha importancia a la "fijación" de P, lo que sugiere que la retención de P tal vez no siempre sea un aspecto tan grave como se ha asumido. Esta idea es parcialmente corroborada no solo por los resultados discutidos sino también por resultados de los experimentos de larga duración en Iowa y en otras regiones que muestran que la remoción de P con las cosechas es más importante en determinar tendencias de valores de análisis de suelo a lo largo del tiempo dentro de cierta zona geográfica.

También es probable que muchos nos hayamos olvidado de que en siembra directa y a veces con laboreo vertical, la fertilización al voleo es en realidad un bandeo horizontal. Estudios de retención y liberación de P demuestran que la retención de P es reducida en los primeros cm de suelo de campos en siembra directa comparado con suelos labrados, probablemente debido a un menor contacto con el suelo y a un marcado aumento de materia orgánica humificada o en proceso de humificación que reduce la adsorción y retrogradación de compuestos solubles de P.

Finalmente, otro aspecto a considerar es que en los experimentos de Iowa y del cinturón maicero, la fertilización al voleo se hizo de tres a cinco meses antes de la siembra, como hacen los productores debido al régimen climático. Si bien esto se está investigando en este momento con nuevos ensayos, es muy probable que la fertilización con anterioridad a la siembra sea más eficiente porque hay más tiempo para que el P llegue a incorporarse (acción de la lluvia y fauna, grietas, etc.), en los primeros cm de suelo. Este es otro aspecto en el cual viejos conceptos útiles para siembra convencional, tales como que el P debe aplicarse lo más cerca de la siembra posible, probablemente no sean razonables para laboreo conservacionista.

Hay otros aspectos a considerar al hacer recomendaciones para productores que son más difíciles de cuantificar. Es muy común que los investigadores enfoquemos interpretaciones solamente en diferencias físicas de rendimiento y económicas que no consideran los aspectos prácticos ni la filosofía del productor para uso de fertilizantes u otros insumos y su actitud respecto a riesgo. ¿Cuál es el costo de la aplicación bandeada comparado con la fertilización al voleo pero considerando no solo el costo al comprar el equipo sino también costos de mantenimiento y de tiempo invertido para reparaciones y para sembrar? ¿Cuál es la dosis de fertilizante recomendada y cual es la que se va a aplicar y para qué cultivo? ¿Que es mejor (físicamente, económicamente), fertilizar a cada cultivo o planear la fertilización de la rotación? ¿Que se pretende optimizar, el retorno a la fertilización (considerando el material y la aplicación) o el retorno a la producción? ¿Cuál es la filosofía de manejo del productor en términos de inversión en manejo y tiempo y aversión al riesgo?.

Existen dos ejemplos muy concretos que muestran como las filosofías de interpretación de análisis de suelo y manejo de la fertilización hacen que algunas ideas preconcebidas no se cumplan. Debido al uso generalizado de fertilización bianual para la rotación maíz-soja antes de sembrar el maíz, siempre se agrega P o K en exceso de lo que el primer cultivo necesita. Esto hace que en muchos casos aún grandes ventajas de la aplicación bandeada con la sembradora o efectos significativos del momento de aplicación sean irrelevantes en la práctica. El otro caso se refiere al uso de técnicas de agricultura de precisión tales como fertilización con dosis variables basado en un muestreo de suelo denso. La investigación en Iowa indica que si bien teóricamente el uso de la tecnología variable debería aumentar los rendimientos y el beneficio económico de la fertilización, este no es el caso para la mayoría de los productores. Una de las razones más importantes es que se usa una filosofía cercana a la de "subir y mantener" con dosis para suelos deficientes que no sólo se calculan para obtener el óptimo rendimiento económico sino el máximo rendimiento y para subir los niveles de nutrientes en un plazo razonable. Es probable que el retorno económico a la fertilización variable sea mayor si se usara una filosofía más cercana a la del "nivel de suficiencia" basada en dosis de fertilización más bajas o conservadoras y para cada cultivo.

## **Comentarios Finales**

Investigadores y extensionistas están continuamente intentando mejorar las recomendaciones de fertilización. Nuevas tecnologías y cambios en las condiciones de la producción hacen que aspectos que parecían solucionados hace mucho tiempo deban reevaluarse. Estos cambios generan dudas en cuanto al valor y al uso que se le está dando a herramientas de diagnóstico de fertilidad, a determinados métodos de aplicación de fertilizantes y a conceptos en los cuales se basan las recomendaciones.



Es claro que se necesita un mayor énfasis en el marco general de la producción, aspectos prácticos que los investigadores generalmente no consideramos y la filosofía de manejo de los productores además de la respuesta física o económica de un cultivo en particular. Esto resultaría en recomendaciones más defendibles y más útiles. Diferencias aparentemente significativas entre métodos de análisis, dosis de fertilización, o métodos de aplicación de fertilizantes, a menudo se hacen irrelevantes cuando se consideran en el marco global de las estrategias para el manejo de la fertilidad, de cultivos y de la economía de la producción. Aspectos tales como la tenencia de la tierra, actitud respecto al riesgo, e importancia dada al tiempo dedicado al manejo serían mucho más importantes que las diferencias que resultan de la experimentación.

No se pretende oponer distintas filosofías o la validez de experimentación o recomendaciones, pero es mi opinión, que los investigadores nos olvidamos de muchas cosas cuando hacemos recomendaciones rígidas, dando la impresión que existe solo una manera eficiente de hacer las cosas. Es evidente que los costos de aplicación, maquinaria (incluso su mantenimiento), el tiempo que el productor dedica tanto a la planificación como al manejo y actitudes respecto al riesgo pueden jugar un rol más importante que diferencias en respuesta. Por ejemplo, en algunos casos la fertilización con aplicaciones al voleo baratas para la rotación, no necesariamente para un cultivo, espaciadas en el tiempo puede ser la alternativa más práctica y económicamente más efectiva. En otros casos, aplicaciones más bajas para cada cultivo tal vez sea la mejor alternativa.

Por último, los resultados que se mostraron y los conceptos discutidos no deben extrapolarse ciegamente a otras regiones y muestran la importancia de conducir ensayos regionales varios años antes de hacer recomendaciones. Si bien esto es sabido, la escasa financiación a menudo obliga a investigadores a hacer recomendaciones que se basan ya sea en unos pocos ensayos que tienen poco valor de extrapolación o en consideraciones teóricas que tal vez no se apliquen a las condiciones reales de producción.