

INFORMACIONES Agronómicas



INVESTIGACION
INPOFOS
EDUCACION

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

IMPORTANCIA DE LA NUTRICION TEMPRANA CON FOSFORO

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

Introducción

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

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

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

JULIO 2001

No. 44

Contenido

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

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

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

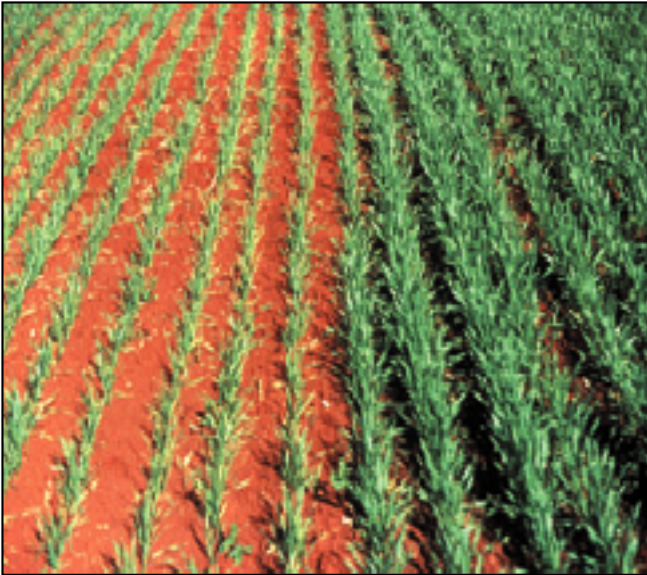


Foto 1. Respuesta en el crecimiento inicial del trigo a la aplicación de P a la siembra (derecha) comparado con el crecimiento de la planta sin aplicación de P (izquierda).

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

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

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

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

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

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

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

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

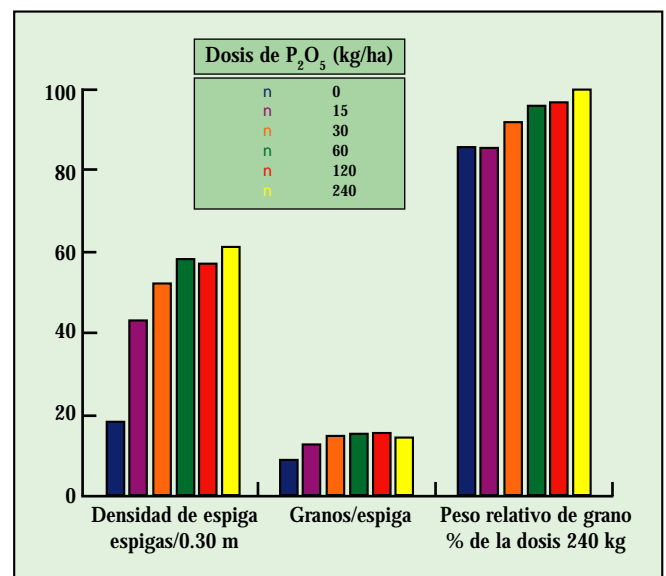


Figura 1. Efecto de la aplicación de dosis de P en el promedio de la densidad de la espiga, número de granos por espiga y peso relativo del grano de cebada (cv. Schooner), Australia en 1986 (adaptado de Hoppe et al., 1999).

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

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

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

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

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

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

* Testigo

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Concentración de P en la semilla

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

Manejo de la nutrición con P

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

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

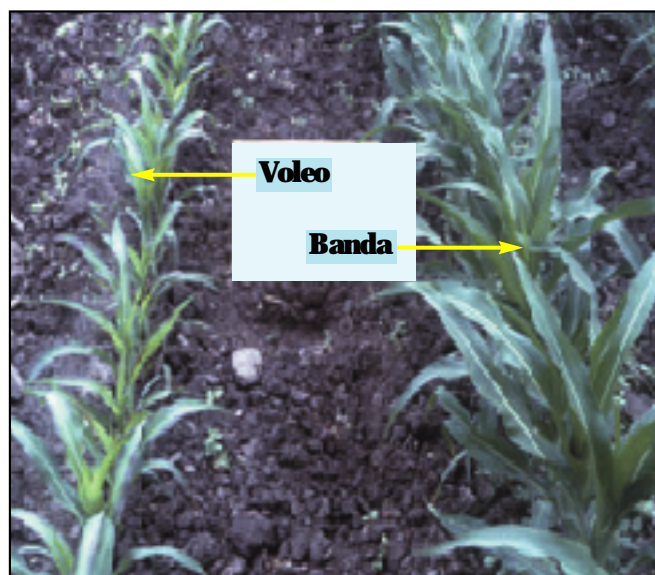


Foto 2. Efecto de la aplicación de P en banda y al voleo en el crecimiento inicial de maíz.

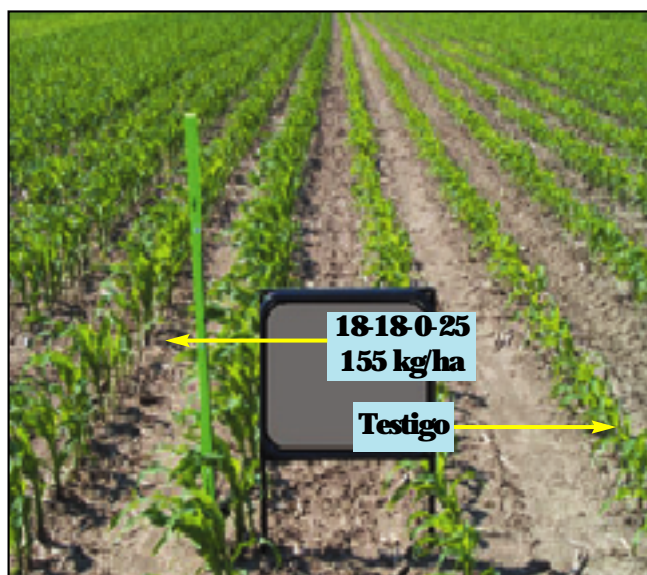


Foto 3. Efecto de la aplicación de arranque con P en un lote de maíz con contenidos relativamente altos del nutriente.

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

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

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

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

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

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

Bibliografía

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