

INFORMACIONES Agronomicas



INVESTIGACION
INPOFOS
EDUCACION

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

MANEJO DEL FOSFORO EN ARROZ

Achim Dobermann y Thomas Fairhurst*

Introducción

El fósforo (P) es un constituyente esencial de la adenosina trifosfato (ATP), nucleótidos, ácidos nucleicos y fosfolípidos. Sus principales funciones son el transporte y almacenamiento de energía y el mantenimiento de la integridad de la membrana celular. El P es móvil dentro de la planta, promueve el macollamiento, el desarrollo de la raíz, la floración temprana y la maduración (especialmente si la temperatura es baja). El P es particularmente importante en las primeras fases de crecimiento. Se requiere aplicar fertilizantes fosfatados cuando el sistema radicular de la planta de arroz no está todavía completamente desarrollado y el suplemento de P nativo del suelo es bajo. El P es removilizado dentro de la planta durante etapas posteriores de crecimiento si suficiente P ha sido absorbido durante las etapas tempranas.

Síntomas de deficiencia de P y efectos en el rendimiento

Las plantas de arroz deficientes en P son pequeñas y tienen muy bajo macollamiento. Las hojas son estrechas, pequeñas y muy erectas y presentan un color verde oscuro. Los tallos son delgados y alargados y el desarrollo de la planta se retarda. Se reduce también el número de hojas, panojas y granos por panoja. Las hojas jóvenes parecen saludables, pero las hojas viejas toman un color parduzco y mueren. Si la variedad tiende a producir antocianinas las hojas pueden desarrollar un color rojo o púrpura. Las hojas tienen un color verde pálido cuando existe una deficiencia simultánea de P y nitrógeno (N). Es difícil reconocer una moderada deficiencia de P en el campo. La deficiencia de P es a menudo asociada con otros desórdenes nutricionales como toxicidad de hierro (Fe) a bajo pH, deficiencia de zinc (Zn), deficiencia de Fe y salinidad y alcalinidad del suelo.

Otros efectos de la deficiencia de P son los siguientes:

- ⁿ Retardo en la madurez (a menudo por 1 semana o más). Cuando la deficiencia es severa las plantas pueden no florecer del todo.
- ⁿ Presencia de una gran proporción de granos vanos. Cuando la deficiencia es severa la producción del grano puede no ocurrir.
- ⁿ Bajo peso y mala calidad del grano.

* Tomado de: Dobermann, A., and T. Fairhurst. 2000. Rice: Nutrient disorders & nutrient management. Potash and Phosphate Institute and International Rice Research Institute.

FEBRERO 2002

No. 46

Contenido

	Pág.
Manejo del fósforo en arroz	1
Fertilidad del suelo, altos rendimientos y rentabilidad	6
Efecto de la fertilización fosfórica sobre los niveles productivos de caña de azúcar en Tucumán	11
Reporte de Investigación reciente	14
Cursos y Simposios	15
Publicaciones de INPOFOS	16
Editor: Dr. José Espinosa	

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.

Tabla 1. Rangos óptimos y niveles críticos de P en el tejidos de arroz.

Estado de crecimiento	Parte de la planta	Concentración óptima (%)	Nivel crítico para la deficiencia (%)
Macollo a iniciación de la panoja	Hoja Y	0.20 – 0.40	< 0.10
Floración	Hoja bandera	0.20 – 0.30	< 0.18
Madurez	Paja	0.10 – 0.15	< 0.06

- ⁿ La planta no responde a la aplicación de N.
- ⁿ Baja tolerancia a la baja temperatura.
- ⁿ Ausencia de algas en el agua de inundación.
- ⁿ Pobre crecimiento (hojas pequeñas, lento establecimiento) de los abonos verdes.

Contenido de P en la planta

Si la concentración foliar de P es de 0.2 - 0.4% durante el crecimiento vegetativo (antes de la floración) el suplemento de P es suficiente y la respuesta a la aplicación de P es poco probable. Rendimientos mayores de 7 t/ha requieren una concentración > 0.06% en la paja a la cosecha y > 0.18% en la hoja bandera a la floración. En la Tabla 1 se presentan los rangos óptimos y los niveles críticos en la planta de arroz.

Contenido de P en el suelo

Se utilizan varios procedimientos de análisis de suelo y los niveles críticos dependen del tipo de suelo y del rendimiento esperado. El método Olsen (0.5 M NaHCO₃ a pH 8.5) y en menor escala el método Bray-1 (0.03 M NH₄F + 0.025 M HCl) son los métodos utilizados en suelos cultivados con arroz de inundación. Los niveles críticos de P con el método Olsen van de 5 mg P/kg en suelos ácidos a > 25 mg P/kg en suelos calcáreos.

En suelos de zonas bajas con poca o ninguna presencia de CaCO₃ libre, los resultados del análisis por el método Olsen se pueden clasificar como sigue:

- ⁿ < 5 mg P/kg (contenido bajo) ‘ respuesta segura a la aplicación de P.
- ⁿ 5–10 mg P/kg (contenido medio) ‘ probable respuesta a la aplicación de P.
- ⁿ > 10 mg P/kg (contenido alto) ‘ respuesta a la aplicación de P solamente a muy altos niveles de rendimiento (> 8 t/ha).

En suelos de zonas bajas con poca o ninguna presencia de CaCO₃ libre, los resultados del análisis por el método Bray-1 se pueden clasificar como sigue:

- ⁿ < 7 mg P/kg (contenido bajo) ‘ respuesta segura a la aplicación de P.
- ⁿ 7–20 mg P/kg (contenido medio) ‘ probable respuesta a la aplicación de P.
- ⁿ > 20 mg P/kg (contenido alto) ‘ respuesta a la aplicación de P solamente a muy altos niveles de rendimiento (> 8 t/ha).

Otros niveles críticos para P en arroz son los siguientes:

- ⁿ Bray-2 (0.03 M NH₄F + 0.1 M HCl): < 12-20 mg P/kg en suelos ácidos.
- ⁿ Mehlich-1 (0.05 M HCl + 0.0125 M H₂SO₄): < 5–7 mg P/kg en suelos de zonas altas.
- ⁿ Mehlich-3: < 28 kg P/ha en suelos de zonas bajas (Arkansas).

Notas de los análisis de suelos

- ⁿ La extracción de P con el método de Olsen en muestra de suelo seco es más versátil para los suelos cultivados con arroz en zonas bajas porque puede usarse en un amplio rango de pH y porque mide también el P que se hace disponible a través de la solubilización inducida por las condiciones anaeróbicas de la rizosfera.
- ⁿ Las extracciones ácidas (Bray-1, Bary-2, Mehlich-1) son más adecuadas para medir la cantidad de P disponible en suelos ácidos de zonas bajas y zonas altas cultivados con arroz de secano.
- ⁿ Se han propuesto varias técnicas para medir P con resinas. En general, estos métodos predicen la absorción de P por el arroz mejor que los métodos de análisis estáticos. Sin embargo no son todavía utilizados en rutina, con la excepción de Brasil.
- ⁿ En suelos de zona alta, ocurre inmovilización por difusión del P hacia los sitios de absorción dentro de los agregados del suelo de modo que los métodos convencionales de análisis usando muestras de suelos molidas secas podría producir resultados contradictorios.

Causas de la deficiencia de P

La deficiencia de P está ampliamente distribuida en los principales ecosistemas donde se cultiva arroz y es el principal limitante del crecimiento en suelos ácidos de zonas altas que tienen una alta capacidad de fijación de P. Los suelos particularmente susceptibles a la deficiencia de P son los siguientes:

- ⁿ Suelos de textura gruesa que contienen pequeñas cantidades de materia orgánica y bajas reservas de P.
- ⁿ Suelos ácidos, arcillosos, altamente meteorizados con alta capacidad de fijación de P (Ultisoles y Oxisoles de muchos países).
- ⁿ Suelos costeros degradados.
- ⁿ Suelos volcánicos con alta capacidad de absorción de P.
- ⁿ Suelos de turba (Histosoles).
- ⁿ Suelos sulfato ácidos con abundante cantidad de aluminio (Al) y hierro (Fe) activos que a bajo pH promueven la formación de compuestos insolubles de P.

Efecto de la inundación en la disponibilidad y absorción de P

Al inicio, la inundación de suelo incrementa la concentración de P en la solución debido a la reducción del Fe^{3+} a Fe^{2+} con la consecuente liberación del P fijado y coprecipitado en los compuestos de Fe. La inundación también mejora la difusión, que es el mecanismo principal de suplemento de P a las raíces. Los procesos envueltos son los siguientes:

- ⁿ Reducción de los fosfatos de Fe^{3+} a fosfatos de Fe^{2+} más solubles.
- ⁿ Liberación del P retenido en los óxidos de Fe^{3+} .
- ⁿ Liberación del P ocluido.
- ⁿ Hidrólisis de los fosfatos de Fe y Al.
- ⁿ Incremento en la mineralización de P orgánico (efecto del flujo de corto plazo).
- ⁿ Incremento en la solubilidad de los fosfatos de calcio (Ca).

Sin embargo, dos a cuatro semanas después de la inundación, al flujo inicial de P disponible sigue una período donde se reduce la disponibilidad debido a la

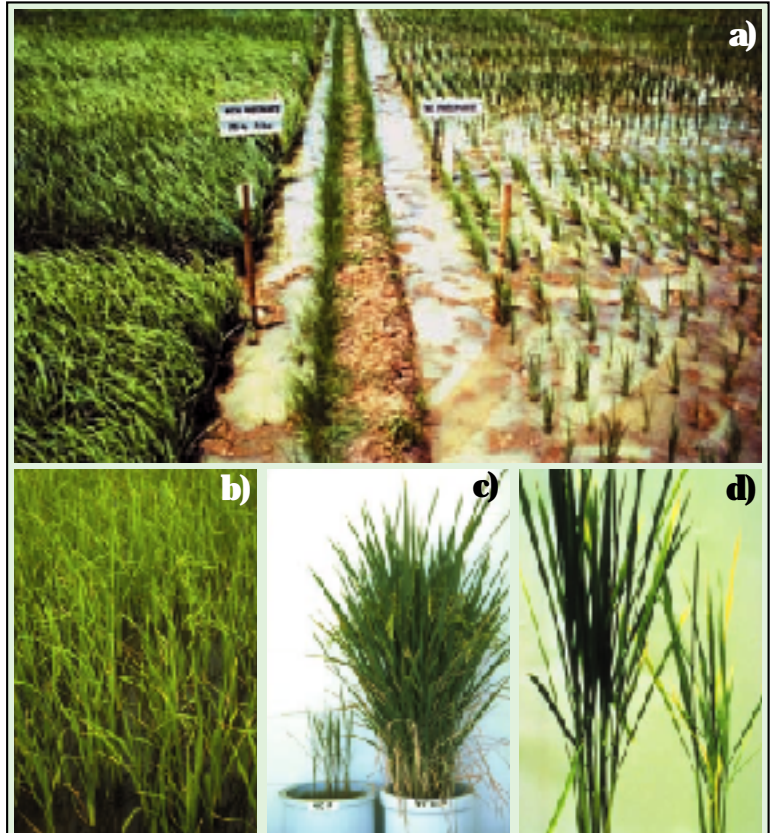


Foto a. Reducción de los macollos como efecto de la deficiencia de P.

Foto b. Cuando la deficiencia de P no es tan pronunciada, los tallos son delgados y alargados y se retarda el desarrollo de la planta.

Fotos c y d. Las plantas deficientes en P son pequeñas y erectas en comparación con las plantas normales.

formación de fosfatos de Fe^{2+} que precipitan P y a la adsorción de P en las partículas de arcilla y en los hidróxidos de Al. Esta reducción en la disponibilidad de P es más pronunciada en suelos que contienen altas cantidades de Fe y Al activos (Oxisoles, Ultisoles, Andisoles y Sulfaquests). Sin embargo, una alta proporción del P absorbido por el arroz proviene de las fuentes de P solubles en ambiente ácido. La planta de arroz es capaz de utilizar estas fuentes de P en condiciones de inundación acidificando la rizosfera. Para esto la planta libera H^+ en las raíces para balancear la carga interna (que se desequilibra por la mayor absorción de cationes sobre aniones). También ayuda al proceso de acidificación de la rizosfera la generación de H^+ en la oxidación de Fe^{2+} por oxígeno (O_2) liberado por las raíces.

El manganeso (Mn^{2+}) y el Fe^{2+} formados en condiciones reducidas durante el ciclo de producción en condiciones de inundación son rápidamente oxidados durante los periodos de descanso después del drenaje del campo. La oxidación de Fe^{2+} resulta en la precipitación de hidróxidos de Fe^{3+} que adsorben P. Por esta razón, los cultivos que se siembran después de

arroz pueden sufrir de deficiencia de P, aun cuando el suplemento de P fue adecuado para el cultivo previo de arroz en condiciones de inundación. Por otro lado, el inundar un suelo bastante seco (oxidado) incrementa la disponibilidad de P para el arroz durante las primeras etapas del ciclo de crecimiento, debido a la rápida liberación del P adsorbido en los hidróxidos de Fe^{3+} .

Absorción de P por las plantas y remoción del campo

La eficiencia del uso interno de P depende del suplemento de este nutriente y de la condición general de nutrición de la planta. Con una nutrición balanceada y con óptimas condiciones de crecimiento, se puede esperar una eficiencia interna de 385 kg de grano por kg de P absorbido, lo que equivale a la remoción de 2.6 kg de P por tonelada de arroz a rendimientos económicos (70 – 80 % del rendimiento máximo).

Sin embargo, en campos de agricultores, el promedio medido de eficiencia interna es solamente de ~ 340 kg de grano por kg de P absorbido. La remoción promedio de P observada en sistemas de producción de arroz inundado en Asia es de 3 kg de P por tonelada de grano (Tabla 2). En consecuencia, un cultivo que rinde 6 t/ha absorbe ~ 18 kg de P/ha (comparado con solamente 15.6 kg de P/ha en condiciones óptimas de crecimiento), de los cuales > 30% permanece en la paja a la madurez.

Si solamente se remueve el grano y la paja retorna al campo, la remoción de P es ~ 2 kg de P/t de grano. Alrededor del 20 – 25% del P presente en la paja se pierde con la quema.

Manejo general del P

Se debe considerar al manejo del P como una inversión a largo plazo en fertilidad del suelo y como la forma más efectiva para prevenir los síntomas antes que tratar las deficiencias, en contraste con el manejo de nitrógeno (N), donde el tratamiento y la prevención tienen igual importancia. El P requiere de una estrategia de manejo a largo plazo porque no se puede perder o añadir fácilmente a la zona radicular por procesos biológicos o químicos como sucede con el N. La aplicación de fertilizante fosfatado tiene un efecto residual que puede persistir por varios años. El manejo debe buscar incrementar y luego mantener niveles adecuados de P disponible en el suelo para asegurar que el suplemento de este nutriente no limite el crecimiento del cultivo o afecte la eficiencia del uso de N.

Las medidas generales para prevenir la deficiencia y mejorar la eficiencia del uso de P se describen a continuación:

Tabla 2. Absorción y contenido de P de las variedades modernas de arroz.

Parte de la planta	Kg de P absorbido por tonelada de grano cosechado	
	Rango típico observado ¹	Promedio observado ²
Grano + paja	2.5 - 3.5	3.0
Grano	1.7 - 2.3	2.0
Paja	0.8 - 1.2	1.0
Concentración de P (%)		
Grano	0.18 - 0.26	0.21
Paja	0.07 - 0.12	0.10
Espiguillas vacías	0.13 - 0.20	0.17
¹ Medido en experimentos en campos de agricultores en Asia (n = 1300) ² Promedio de campos de agricultores y parcelas de investigación (n = 1300)		

- ⁿ Variedades: Seleccione los cultivares de arroz que usen P eficientemente, particularmente en suelos ácidos. Los cultivares eficientes pueden tener una mayor habilidad de adquirir P (mayor eficiencia externa debido a una mejor morfología de la raíz o una mayor excreción de ácidos orgánicos u O_2) o una mayor eficiencia interna para utilizar P (un mayor rendimiento de grano con una baja absorción de P).
- ⁿ Manejo del suelo: En sistemas arroz – arroz se sugiere hacer una labranza superficial en seco (10 cm) dos semanas después de la cosecha. Esta labranza temprana promueve la oxidación del suelo y la descomposición de los residuos durante el periodo de descanso e incrementa la disponibilidad de P disponible durante el crecimiento vegetativo del siguiente cultivo de arroz. Esta práctica no se recomienda en otras rotaciones porque una labranza temprana después de cosechar el arroz puede reducir la disponibilidad de P para el siguiente cultivo. En suelos ácidos de baja fertilidad se deben corregir todos los problemas de fertilidad (acidez, toxicidad de Al, deficiencias de Mg, K y otros nutrientes) para poder obtener una respuesta a P.
- ⁿ Manejo del cultivo: Establecer una población de plantas saludables usando semilla de alta calidad de una variedad de alto rendimiento como múltiple resistencia al ataque de insectos. Se debe sembrar la semilla a la densidad correcta y con adecuado manejo del agua y de los insectos.
- ⁿ Manejo de la paja: Se debe incorporar la paja. A pesar de que la cantidad de P en la paja es pequeña (1 kg de P/t de paja), éste contribuye a mantener un balance positivo de P a largo plazo.

ⁿ Manejo de los fertilizantes: Se debe aplicar las dosis correctas de N y K y se deben corregir las deficiencias de micronutrientes. Se debe reponer el P removido con el cultivo aplicando fertilizantes, residuos de corral u otros materiales. Si los síntomas de deficiencia de P son ya evidentes podría no haber respuesta a la aplicación de P en el presente cultivo. Los factores que afectan la respuesta a la aplicación de fertilizantes fosfatados son:

- Tipo de fertilizante utilizado.
- Epoca y método de aplicación.
- Capacidad del suelo de suplementar P.
- Características físicas y químicas del suelo que afectan la aplicación de P.
- Suplemento de otros nutrientes (N, K, etc.).
- Disponibilidad y manejo del agua.
- Variedad utilizada.
- Sistemas de cultivo e historia del lote.

La aplicación de fertilizantes fosfatados es práctica común en la mayoría de sistemas de arroz irrigado. Para mantener rendimientos de 5 a 7 t/ha y reponer el P removido en el grano y la paja las dosis de aplicación deben estar en un rango de 15 a 30 kg de P/ha. Sin embargo, es necesario corregir las deficiencias de otros nutrientes (N, K, Zn), corregir otros problemas de suelo (zona radicular superficial, toxicidades) y asegurar un adecuado manejo general del cultivo para poder esperar respuesta a la aplicación de fertilizante fosfatado.

Algunas recomendaciones generales para el uso de fertilizantes fosfatados en arroz son las siguientes:

- ⁿ Si la mayoría de paja queda en el campo (cosecha con combinada o cosecha de la panoja solamente) y la contribución de P proveniente de los residuos de corral es baja, se recomienda aplicar por lo menos 2 kg de P/ha por tonelada de grano cosechado (por ejemplo 10 kg de P para una cosecha de 5 t/ha) para reponer el P removido en el grano cosechado.
- ⁿ Si la mayoría de la paja se remueve del campo y el ingreso de P por otras fuentes (residuos de corral, agua, sedimentos) es pequeño, se debe aplicar al menos 3 kg de P/ha por tonelada de grano cosechado (por ejemplo 15 kg de P para una cosecha de 5 t/ha) para reponer el P removido en el grano cosechado.
- ⁿ Se requieren aplicaciones de altas cantidades de fertilizante fosfatado para reponer el contenido de P de suelos que han sido severamente agotados por remoción a largo plazo (suelos degradados intenso y largo manejo). Se requieren aplicaciones de entre 200 y 500 kg de P/ha cuando se empiezan a utilizar suelos ácidos en áreas nuevas de cultivo de arroz.

ⁿ En sistemas de arroz cultivados en suelos con alta capacidad de fijación de P se puede requerir una gran aplicación inicial o repetidas aplicaciones pequeñas. La fijación del P añadido se reduce a medida que el P ya adsorbido en las arcillas aumenta. Por esta razón, la respuesta del cultivo se incrementa con aplicaciones repetidas de pequeñas cantidades de P. Cuando el contenido de P medido por Mehlich-1 es menor de 10 mg/kg en suelos ácidos de los trópicos húmedos (Ultisoles y Oxisoles), requiere aplicar alrededor de 20 kg de P/ha para incrementar la cantidad de P en 1 mg de P/kg. Cuando el contenido de P medido con Mehlich es < 10 mg/kg solamente se requieren de 10 a 15 kg de P/ha para incrementar el contenido de P en 1 mg/kg. Se puede evitar la fijación de P en este tipo de suelos aplicando el fertilizante fosfatado en banda bajo la semilla. Esto incrementa la proliferación de las raíces cerca y dentro de la banda aumentando la concentración de P soluble cerca de la superficie de la raíz.

ⁿ La aplicación de P en arroz tiene un efecto residual en el cultivo siguiente, pero es más eficiente la aplicación en cada cultivo.

ⁿ En suelos ácidos se puede usar roca fosfórica. Este material debe aplicarse al voleo e incorporarse antes de la inundación para permitir que la reacción entre el suelo y la roca libere P que la planta puede absorber.

En algunos suelos, en condiciones de mala aeración, la excesiva aplicación de fuentes solubles de P puede inducir una deficiencia de Zn.^u

