

EFECTOS DE LA INUNDACION Y SECADO DEL SUELO EN LAS REACCIONES DEL FOSFORO

Cliff Snyder y Nathan Slaton*

Introducción

En los últimos tiempos se han incrementado los reportes de deficiencia de fósforo (P) en el cultivo del arroz y en los cultivos de rotación con arroz en suelos de textura media (franco limosos y franco arcillo limosos). También se ha reportado este problema en suelos arcillosos recientemente nivelados.

El comportamiento del P no es el mismo en suelos que permanecen continuamente inundados que en suelos donde se alterna la inundación con secamiento. La duración y profundidad de la capa de inundación afectan a los niveles de oxígeno (O_2) del suelo, el pH, la disponibilidad de P y la cantidad y tipo de ciertos microorganismos. El propósito de este artículo es explicar las reacciones de P bajo diferentes condiciones de suelo, sugerir formas de evitar la deficiencia de P y proveer información para incrementar la respuesta a las aplicaciones de fertilizantes fosfatados.

Qué pasa a los suelos en condiciones de inundación?

Niveles de Oxígeno: Cuando el suelo está inundado (condiciones anaeróbicas), los microorganismos usan el O_2 disponible para sobrevivir. La concentración de O_2 libre se reduce completamente alrededor de dos días después de la inundación. Mientras más tiempo pasa el suelo inundado menor es el contenido de O_2 (más reducido). Algo de O_2 se mueve desde el aire, a través del agua de inundación, y oxigena una capa de 2 – 3 cm en superficie del suelo. Mientras más profunda sea la lámina de agua, menor la cantidad de O_2 que se puede mover desde el aire al suelo. La mayoría de los cultivos de secano no pueden tolerar prolongada inundación, sin embargo, el arroz tiene la habilidad de transportar O_2 de las hojas y tallos a las raíces. El área alrededor de las raíces del arroz es oxigenada en comparación con el resto del suelo.

El contenido de O_2 se puede medir con electrodos especializados y se expresa como potencial rédox. El potencial rédox se mide en milivoltios. Cuando el potencial rédox es menor (más negativo), el suelo está más reducido (menos O_2). Si el suplemento de O_2 es deficiente, las bacterias del suelo se ven forzadas a obtener O_2 de otros compuestos en el siguiente orden:

nitrito (NO_2^-), óxido de manganeso (MnO_2), hidróxido de hierro ($Fe(OH)_3$) y sulfato (SO_4^{2-}). Si se agotan estos compuestos, los microorganismos pueden utilizar parte de la energía almacenada en los compuestos orgánicos del suelo o pueden fermentar la materia orgánica para formar dióxido de carbono (CO_2) y metano (CH_4).

El pH del Suelo: Después que se inunda el suelo, sin importar el pH original antes de la inundación, el pH del suelo inundado tiende a ser neutro (pH 6.5 a 7.5). El pH de suelos alcalinos se reduce y el pH de suelos ácidos se incrementa. El cambio de pH después de la inundación puede tardar varias semanas, dependiendo del tipo de suelo, niveles de materia orgánica, población microbiana, temperatura y otras propiedades químicas del suelo (**Figura 1**).

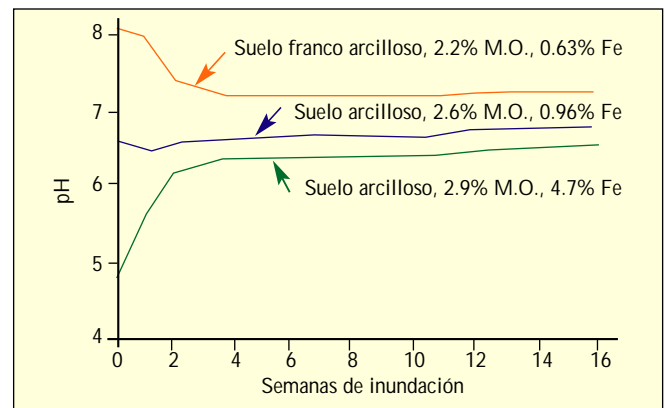


Figura 1. Efectos de la inundación en el pH del suelo. Adaptado de Chemistry of Submerged Soils. Advances in Agronomy, 1972.

P del Suelo: Existen dos categorías de P en el suelo: orgánico e inorgánico. Las formas de P orgánico no están disponibles para las plantas. El P inorgánico se agrupa en 5 categorías generales: fosfatos de hierro (Fe), fosfatos de aluminio (Al), fosfatos de calcio (Ca), fosfatos solubles reductores (solubles bajo condiciones de suelo reducidas), fosfatos ocluidos de Fe y Al (fosfatos cubiertos con capas de Fe_2O_3 o Al_2O_3 y que no son disponibles hasta que se remueva la cubierta). El P debe estar en forma de ortofosfato soluble (HPO_4^{2-} y $H_2PO_4^-$) para que sea absorbido por el arroz y todas las demás plantas.

La inundación (saturación) generalmente incrementa las disponibilidad de P en el cultivo de arroz?

* Tomado de: Snyder, C. and N. Slaton. 2002. Effects of soil flooding and drying on phosphorus reactions. News and Views Newsletter. Potash and Phosphate Institute. Atlanta, Georgia.

El incremento en la disponibilidad P en condiciones de inundación tiene que ver con la reducción de fosfatos férricos (Fe^{+3}) a fosfatos ferrosos (Fe^{+2}), a la liberación de P de componentes insolubles de Fe y Al y a cierta disolución de fosfatos de Ca cuando existen altos niveles de CO_2 en la solución del suelo. La liberación de P mediante estos procesos puede tomar varias semanas después de la inundación (**Figura 2**). Este flujo inicial de P liberado puede fijarse en las partículas de arcilla e hidróxidos de Al (AlOOH), y en algunos suelos con altas cantidades de Fe y Al activo puede aun resultar en una reducción en la disponibilidad de P en el suelo.

El mantener niveles medios a altos de P en el suelo ayuda a protegerse de la potencial fijación de P y asegura que el P pueda ser reabastecido rápidamente a la solución de P del suelo tan pronto como las raíces depriman la concentración de iones fosfato en la solución. Los iones de fosfato se mueven por el proceso de difusión, o sea se mueven de áreas de alta concentración a áreas de menor concentración en el suelo. Este proceso es más rápido en suelos húmedos o inundados que en suelos secos. Sin embargo, la distancia de difusión es menor a 2 mm.

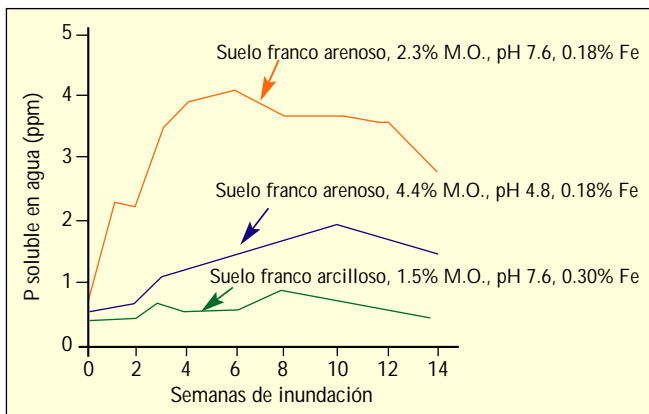


Figura 2. Efectos de inundación en la disponibilidad de P. Adaptado de Chemistry of Submerged Soils. Advances in Agronomy, 1972.

Los análisis de suelo comunes predicen acertadamente la necesidad de P en el arroz?

Existe preocupación de que los análisis de suelo de uso común (Bray 1, Mehlich 3, Bray 2, Olsen, etc.), usados normalmente en cultivos de secano (condiciones aeróbicas) por laboratorios públicos y privados no sería una herramienta adecuada para determinar las necesidades P en arroz. La mayoría de los métodos de análisis de suelo miden solo una parte de la fracción inorgánica de P. Estudios conducidos recientemente en las Universidades de Arkansas y Texas A&M han determinado que los niveles de P extractable tienden a incrementarse a medida que se incrementa el tiempo después de la inundación. La misma investigación

demonstró que la correlación del P extractable bajo condiciones de reducción con el rendimiento no mejoró mucho la habilidad para predecir la absorción de P por las plantas de arroz, en comparación con la extracción en condiciones de oxidación.

El uso prolongado de agua de pozo con alta concentración de calcio (Ca^{+2}), magnesio (Mg^{+2}) y bicarbonato (HCO_3^-) incrementa el pH del suelo de los campos de arroz. En campos con suelos alcalinos, la mayoría del P se puede encontrar en forma de compuestos de Ca que no liberan P en condiciones de inundación. La alta concentración de Ca en el suelo y en el agua de riego puede resultar en la precipitación de fosfatos de Ca insolubles por un corto periodo de tiempo y de esta forma reducir la disponibilidad de P. Investigación con arroz en Arkansas demostró que existe una mayor posibilidad de respuesta a P por el arroz en suelos con pH alto (> 6.5) comparado con suelos de menor pH. Como consecuencia, la Universidad de Arkansas toma en cuenta el pH del suelo y la concentración de P extraído con Mehlich 3 para hacer las recomendaciones de P para el arroz.

La variación estacional en el contenido de P detectado por el análisis de suelos está relacionada con el contenido de O_2 en el suelo, los cambios en temperatura, la actividad microbiana y la mineralogía del suelo. Generalmente, los niveles de P extractable bajan después que se drenan los lotes inundados. Esto hace que sea bastante difícil el desarrollar un método válido de interpretación del análisis de P en arroz y en los cultivos de rotación. Estudios de la Universidad de Arkansas encontraron que los contenidos de P extraídos con Mehlich 3 pueden ser mucho menores cuando las muestras de suelo se toman después de cosechar arroz, en comparación con muestras colectadas después de soya, en el mismo suelo que había recibido diferentes dosis de P (**Tabla 1**).

Estas observaciones traen inquietudes con respecto a la época de muestreo (condiciones ambientales) y a su

Tabla 1. Efecto del P aplicado al cultivo previo (soya o arroz) en 1998 en el contenido de P (Mehlich 3) de muestras tomadas en 1999.

Dosis de P 1998 kg P_2O_5 /ha	Contenido de P 1999		Diferencia ¹	
	Arroz	Soya	Arroz	Soya
0	12	25	-13	8
24	12	31	-18	15
48	12	34	-16	16
96	14	47	-17	31
134	14	50	-15	34

¹ Contenido original de P según el análisis en 1998, menos contenido de P según el análisis en 1999.

efecto sobre el contenido de P detectado por el análisis de suelo, así como en la habilidad de predecir las necesidades de P para el arroz y los cultivos en rotación.

A medida que los suelos se secan después de drenar el lote, los compuestos de Fe y Al (solubles durante el periodo de inundación) pasan a reaccionar con el P nativo y con el P aplicado como fertilizante formando fosfatos insolubles. A medida que el suelo se va secando se van formando compuestos amorfos de Fe (FeOOH) que tienen una alta reactividad. Estos compuestos fijan rápidamente los fosfatos solubles y reducen la disponibilidad de P. Esta fijación de P es más alta y menos reversible en condiciones de inundación y secado alterno que bajo condiciones de continua humedad o inundación. Como consecuencia de estas reacciones se pueden presentar deficiencias de P en los cultivos que se siembran después de arroz. El maíz es particularmente susceptible y debe recibir consideraciones especiales cuando se siembra después de arroz.

Cómo se pueden evitar las deficiencias de P en los cultivos sembrados después de arroz o en los cultivos sembrados en lotes que han permanecido inundados durante la época lluviosa?

Muchos agricultores usan dosis de P que van de 50 a 100 kg de P_2O_5 /ha antes o justo al momento de la siembra, para evitar de esa forma las potenciales deficiencias de P. Si se siembra maíz o sorgo después de arroz, probablemente existe necesidad de incrementar las dosis de P para prevenir la potencial fijación. En estos cultivos, la deficiencia temprana de P puede reducir sensiblemente el rendimiento y prologar la madurez. En suelos que mantienen ciclos secos e inundados alternos, y que tienen contenidos medios o bajos de P, es importante hacer aplicaciones anuales de P a la siembra para prevenir el desarrollo de deficiencias.

Cuál es la mejor época para aplicar P al arroz?

Datos de estudios sobre la mejor época de aplicación de P en arroz, sembrado con máquina, indican que es mejor aplicar el P antes de la inundación y no antes de la siembra. En las otras modalidades de siembra se puede aplicar antes de la siembra o antes de la inundación y la forma de aplicación está determinada por las consideraciones prácticas dentro del esquema de manejo del cultivo.

Conclusiones

Los agricultores y los extensionistas deben entender bien los cambios estacionales del contenido de P en el suelo que ocurren con los ciclos húmedos y secos. Estos ciclos son reales y afectan los resultados de los análisis de suelos y pueden afectar la recomendación de fertilización. Las recomendaciones de P para arroz y para los cultivos en rotación que se basan estrictamente en el contenido de P en el suelo según el análisis deben ser refinados con la inclusión de la información de pH, temperatura del suelo a la siembra, sistema de labranza (directa y convencional), sistema de siembra (siembra con máquina, siembra al voleo o transplante) y si el lote ha sido recientemente nivelado o no.

Los rendimientos de los cultivos de secano sembrados después de arroz de inundación (maíz, sorgo, soya) pueden ser bajos si no se mantienen niveles de medios a altos de P en el suelo y si no se aplican las cantidades requeridas de P. Este efecto puede durar dos a más años en los cultivos de secano y puede estar también relacionado con malas condiciones físicas de suelo, limitado crecimiento radicular y baja colonización de micorrizas.

Una forma de reducir el riesgo de deficiencias de P en los cultivos después del arroz, o cultivos sembrados después de periodos de inundación, es el incrementar el contenido de P en el suelo a niveles medios o altos aplicando dosis de 50 a 100 kg de P_2O_5 /ha justo antes de la siembra. ✎