

EL FOSFORO

(Primera Parte)

UN NUTRIENTE ESENCIAL PARA LAS PLANTAS

El fósforo (P) es esencial para el crecimiento de las plantas. No existe ningún otro nutriente que pueda sustituirlo. Las plantas deben tener P para completar su ciclo normal de producción. Es uno de los tres nutrientes principales. Los otros dos son el Nitrógeno (N) y el Potasio (K). La tabla siguiente muestra algunos cultivos y las cantidades de P_2O_5 que absorben del suelo.

Cultivo	Rendimiento/ha	P_2O_5 absorbido por todo el cultivo (kg/ha)
Alfalfa	18 t	135
Pasto bermuda	18 t	108
Maíz	10035 kg	102
Algodón	1100 kg	45
Sorgo granífero	8960 kg	94
Naranjas	50 t	62
Maní	4480 kg	44
Arroz	7840 kg	67
Soya	4030 kg	65
Tomates	89.6 t	95
Trigo	4030 kg	46

Nota: El contenido de fósforo de los fertilizantes se expresa como equivalente de P_2O_5 , aun cuando no se presenta P_2O_5 como tal en los fertilizantes. El P_2O_5 es la designación corriente del contenido relativo de P. En este texto, algunos de los resultados están reportados en términos de P y otros en términos de P_2O_5 . Para convertir el P en P_2O_5 , simplemente se multiplica por el factor 2,29. Para convertir de P_2O_5 a P, se multiplica por el factor 0,43

EL FOSFORO DESEMPEÑA VARIOS PAPELES EN LA PLANTA

Las plantas absorben la mayor parte del fósforo que necesitan como ion ortofosfato primario ($H_2PO_4^-$). También absorben cantidades menores del ion ortofosfato secundario (HPO_4^{2-}). El pH del suelo influye enormemente en la proporción con que estos iones son absorbidos

por la planta. Otras formas de P también pueden ser utilizadas, pero en cantidades mucho menores que los ortofosfatos.

El P actúa en la fotosíntesis, respiración, almacenamiento y transferencia de energía, división celular y muchos otros procesos de la planta viviente.

Promueve la formación temprana y el crecimiento de las raíces. El P mejora la calidad de numerosas frutas, verduras y cereales. El P es vital para la formación de semillas.

La concentración de P es más alta en la semilla que en ninguna otra parte de la planta madura, como lo indica la siguiente tabla:

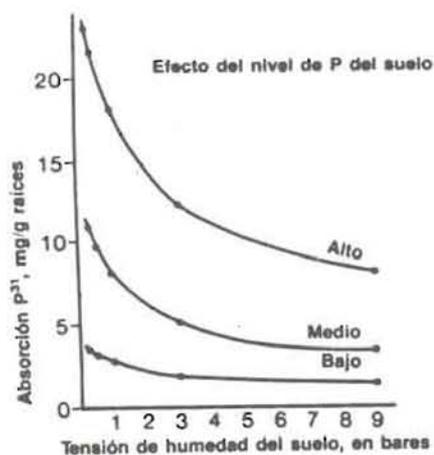
Cultivo	Parte	Rendimiento kg/ha	%P
Maíz	Grano	9400	0.22
	Forraje	8400	0.17
Algodón	Semilla	2240	0.66
	Tallos	2800	0.24
Maní	Nueces	4480	0.20
	Ramas	7170	0.26
Arroz	Grano	6720	0.28
	Paja	7840	0.09
Soya	Grano	3360	0.42
	Paja	7840	0.18
Trigo	Grano	4030	0.24
	Paja	6050	0.12

El P ayuda a que las plántulas y las raíces se desarrollen más rápidamente. El P permite a las plantas soportar inviernos rigurosos. El P aumenta la eficiencia de uso de agua. El P acelera la madurez, lo cual es importante para la cosecha y para la calidad del cultivo (ver tabla siguiente). El P contribuye a aumentar la resistencia a las enfermedades en algunas plantas.

La fertilización con P aumentó los rendimientos de maíz y redujo la humedad de los granos al momento de la cosecha en un suelo con bajo contenido de P, en Illinois.

P ₂ O ₅ kg/ha	Rendimiento kg/ha	Porcentaje de humedad del grano %
0	6210	31.8
45	8216	27.8
90	8844	27.0
135	8467	26.9
180	8718	26.5

La absorción de P por las plántulas de maíz disminuye a medida que la tensión de agua del suelo aumenta. Pero niveles altos de P en el suelo ayudan a mantener la absorción del mismo por las plántulas de maíz aún con altas tensiones de humedad (ver gráfica).



SINTOMAS DE DEFICIENCIA EN LA PLANTAS

El primer síntoma de falta de P es una planta atrofiada. Las hojas pueden deformarse. Con deficiencia severa se pueden producir áreas necróticas en las hojas, frutos y tallos. Las hojas más viejas quedan afectadas antes que las jóvenes. A menudo se observa un color rojizo en las plantas de maíz deficientes en P. Esto también ocurre en otros cultivos, especialmente cuando las temperaturas del medio ambiente son bajas.

Los síntomas visibles, aparte de la atrófia en crecimiento y bajos rendimientos, son en general menos claros que los síntomas de deficiencia producidos por el N y K.

La deficiencia de P es difícil de detectar en los cereales. En ciertas etapas del desarrollo la deficiencia de P puede

dar al cultivo un colorido verde oscuro. Uno debe siempre estar alerta para observar las características típicas de atrofiamiento, y cuando sea posible, confirmar lo que se ve a simple vista mediante análisis de suelo y tejidos.

FUENTES Y CANTIDAD DE FOSFORO EN LOS SUELOS

El fósforo elemental es químicamente muy activo. Debido a ello no se le encuentra en estado puro en la naturaleza. Se le encuentra solo en combinación con otros elementos.

El P del suelo proviene en su mayor parte de la interperización de la apatita, un mineral que contiene P y Ca, junto con otros elementos como flúor y cloro. A medida que la apatita se descompone y desprende P en el suelo, se forman numerosos compuestos de P incluyendo los dos ortofosfatos que las raíces de las plantas absorben. Estos son generalmente solubles y se les puede encontrar disueltos en pequeñas cantidades en la solución del suelo.

Una parte de P formará compuestos con el Ca, Fe y Al, ya sea su origen la apatita, fertilizante, estiércol, o materia orgánica. La mayoría de estos compuestos no serán utilizados por las plantas debido a que son insolubles. Se dice que se encuentran en forma "invertida" o "fija". Sin embargo, los fosfatos dicálcicos u octocálcicos son relativamente utilizables.

Otras fuentes de P incluyen la materia orgánica, el humus, microorganismos y los cuerpos de insectos y otras formas de vida en descomposición.

La capa arable de la mayoría de los suelos contiene entre 800 y 1600 kg de P por hectárea, combinado con otros elementos, la mayoría en forma no disponible para las plantas. Sólo una cantidad muy pequeña del P total del suelo se encuentra en solución en un momento dado, por lo general menos de 4 kg por ha.

Por lo tanto, a medida que las raíces penetran el perfil del suelo para usar el P disponible, éste debe ser reemplazado en forma continua. El P en la solución del suelo es reemplazado unas 2 veces al día o alrededor de 250 veces durante la estación de crecimiento de cultivos tales como el maíz y la soya. Para que el suelo produzca altos rendimientos debe reabastecer o mantener un nivel de P adecuado en solución.

El diagrama siguiente muestra: (1) cómo la solución del suelo es reabastecida con P, (2) cómo éste se torna no disponible, (3) cómo es removido (o perdido) del suelo.

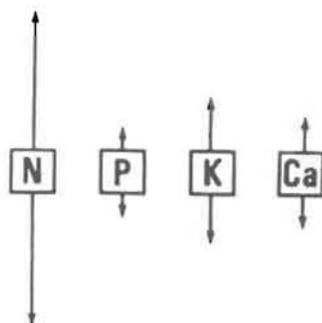


Note la doble flecha entre "P en la solución suelo" y "Minerales". RECUERDE: El P se torna disponible a través de la intemperización de los minerales. Pero también se torna no disponible o "fijo" de tal forma que las plantas no pueden usarlo.

MOVIMIENTO DEL FOSFORO EN EL SUELO

El P se mueve muy poco en la mayoría de los suelos. Por lo general se queda en el lugar en que es puesto ya sea por la intemperización de los minerales o por la fertilización. De modo que el P que se pierde por lixiviación es muy poco, si bien es cierto que éste se mueve con mayor facilidad en los suelos arenosos que en los arcillosos. La erosión superficial (escurrimiento) puede remover las partículas de suelo que contienen P. Las pérdidas importantes de P ocurren únicamente por escurrimiento o por la remoción efectuada por las plantas.

Prácticamente todo el P del suelo se mueve por difusión, un proceso lento y de corto alcance, que depende de la humedad del suelo. La difusión en los suelos secos es extremadamente baja. El K también se mueve por difusión, pero éste es más soluble que el P, de modo que tiende a moverse a distancias mayores. Si comparamos las distancias a que se mueven el N, P, K y Ca desde su punto de ubicación, vemos cuán libremente se mueve el N (como NO_3^-) en el suelo. Recuerde que esta comparación es sólo relativa, no absoluta.



¿CUANTO se mueve realmente el P en el suelo?. Si el P en un suelo franco (migajón) se encuentra a más de 0,6 cm de una raíz, nunca se acercará lo suficiente para ser absorbido por la raíz. Las raíces de un cultivo en crecimiento, de acuerdo con estimaciones, sólo entran en contacto con el 1% al 3% del suelo de la capa arable.

En términos prácticos, esto significa que el suelo debe tener un suministro adecuado de P para mantener un crecimiento óptimo del cultivo. El nivel de P del suelo en toda la zona donde crecen las raíces debería ser lo suficientemente alto para asegurar P DISPONIBLE durante cada etapa del crecimiento.

Como lo muestra la tabla siguiente, la disponibilidad de P en toda la temporada de crecimiento no puede dejarse de subrayar. La soya absorbe prácticamente la mitad de sus necesidades durante los últimos 40 días de su crecimiento. Si falta P para la mitad de las necesidades aún por satisfacer, más vale olvidarse de los objetivos de cosecha de esa temporada

Porcentaje de P total absorbido por la soya después de siembra				
40 días	80 días	100 días	120 días	140 días
2%	44%	51%	76%	100%

FACTORES QUE AFECTAN LA DISPONIBILIDAD DE FOSFATO

La mayoría de los cultivos recuperan sólo una pequeña parte del P de los fertilizantes durante el primer año de aplicado. El porcentaje de recuperación es muy variable. Depende de la fuente de P, tipo de suelo, cultivo, método de aplicación y clima. Por lo general es menor del 30%. Pero una buena parte de P residual estará disponible para los cultivos siguientes. La disponibilidad de P depende de numerosas condiciones del suelo:

1. TIPO DE ARCILLA -Los suelos ricos en arcillas caoliníticas (en zonas de alta pluviosidad y temperatura) retienen o "fijan" más P agregado que otros suelos. (El término, "fijación", describe la retención de P en los suelos). Independientemente del tipo de arcilla, el P de los fertilizantes es convertido rápidamente a formas menos disponibles.
2. CANTIDAD DE ARCILLA -Los suelos con alto contenido de arcilla fijarán más P que aquellos que

contienen cantidades menores.

3. **EPOCA DE APLICACION** -Mientras mayor sea el tiempo de contacto entre el P añadido y el suelo, mayores serán las oportunidades de fijación. En suelos con alta capacidad de fijación, el cultivo debe usar el P del fertilizante antes de que éste sea fijado. En otros suelos, la utilización de P puede durar muchos años. Este período crítico (cuánto tiempo después de la aplicación puede la planta utilizar el P en forma efectiva) determina el calendario de fertilización. ¿Debemos aplicar el fósforo ocasionalmente en grandes cantidades, como en una rotación, o debemos aplicarlo con mayor frecuencia y en cantidades más pequeñas?
4. **AIRACION** -El oxígeno es necesario para el crecimiento de las plantas y la absorción de nutrientes. También es esencial para la descomposición microbiológica de la materia orgánica del suelo, una de las fuentes de P.
5. **COMPACTACION** -La compactación reduce la aireación y el espacio poroso de la zona radicular. Esto reduce la absorción de P y el crecimiento de las plantas. La compactación también reduce el volumen del suelo que las raíces pueden penetrar, limitando en esta forma su acceso al P del suelo.
6. **HUMEDAD** -Al aumentar la humedad del suelo a niveles óptimos, se aumenta la disponibilidad de P para las plantas. Pero el exceso de humedad excluye el oxígeno, limitando el desarrollo radicular y reduciendo la absorción de P.
7. **CONDICION DEL FOSFATO EN EL SUELO** - Aquellos suelos que han recibido fosfato en cantidad mayor de la que los cultivos han removido por varios años pueden presentar un aumento en el nivel de P - suficiente como para reducir los niveles de fertilización, si el P en el suelo es lo suficientemente alto. No deje que el suelo llegue a niveles bajos en P.
8. **TEMPERATURA** -Cuando las temperaturas son adecuadas para permitir un buen crecimiento de las plantas, la disponibilidad de P no se ve afectada. Las temperaturas altas favorecen la descomposición de la materia orgánica. Pero si las temperaturas son o muy altas o muy bajas, pueden limitar la absorción de P por parte de la planta.

9. **pH DEL SUELO** -La solubilidad de numerosos compuestos del P en el suelo está determinada principalmente por el pH. Los fosfatos de hierro, manganeso y aluminio son poco solubles en el agua. Ellos predominan en suelos ácidos. Existen compuestos insolubles de Ca, Mg y Na a un nivel de pH superior a 7,0. Las formas más solubles y disponibles de P se presentan en la gama de pH entre 5,5 y 7,0. Esto hace que las prácticas de encalado en suelos muy ácidos sean esenciales. (Veáse el Concepto Visual 8).
10. **OTROS NUTRIENTES** -La aplicación de otros nutrientes puede estimular la absorción de P. El Ca en suelos ácidos y el azufre en suelos básicos parecen aumentar la disponibilidad de P, como también lo hace el N amoniacal. Pero la fertilización con zinc tiende a limitar la disponibilidad de P. Las aplicaciones de K tienen poco o ningún efecto.

La disponibilidad del fósforo varía con la reacción del suelo (pH)

