

## **EFFECTOS DEL FOSFORO EN LA FIJACION DEL NITROGENO**

El fósforo (P) es un ingrediente esencial para que la bacteria *Rhizobium* convierta el nitrógeno atmosférico ( $N_2$ ) a amonio ( $NH_4$ ) que es una forma de nitrógeno (N) asimilable por la planta. El *Rhizobium* es capaz de sintetizar la enzima nitrogenasa que es la que cataliza la conversión de  $N_2$  en dos moléculas de amoníaco ( $NH_3$ ). El color rosado, típico de los nódulos sanos y efectivos de las leguminosas, se debe a la presencia de una proteína llamada leghemoglobina. Esta proteína especial contiene hierro (Fe) y molibdeno (Mo) y es responsable por ligar el oxígeno. Esta condición crea un ambiente con poco oxígeno dentro del nódulo lo que permite que la bacteria viva y fije  $N_2$ . El P se envuelve en este proceso como una fuente de energía al momento que 16 moléculas de adenosina trifosfato (ATP) se convierten en adenosina difosfato (ADP) por cada molécula de  $N_2$  que se reduce a  $NH_3$ . El ATP se genera durante el proceso de fotosíntesis cuando la energía luminosa se transforma y almacena en forma de ATP que luego puede ser usada por la planta.

El P influye en el desarrollo de los nódulos a través de una de sus funciones básicas en las plantas que es servir como fuente de energía. La deficiencia de P restringe el crecimiento radicular, el proceso de fotosíntesis, el transporte de azúcares y otras importantes funciones que influyen directamente o indirectamente la fijación de N en las leguminosas. El encalado de los suelos ácidos para elevar el pH a rangos adecuados es importante en la relación entre P y la fijación biológica de N. El encalado mejora la disponibilidad de P en el suelo para que sea absorbido por la planta y crea un ambiente más favorable para bacterias beneficiosas como los diferentes tipos de *rhizobium*.

Datos de investigación documentan la influencia de P en el desarrollo de los nódulos y en el proceso de fijación de N en leguminosas. Por ejemplo, cuando se aplica P a la alfalfa, los nódulos se desarrollaron rápidamente. Los datos indican que en suelos con altas cantidades de P los nódulos aparecieron en las raíces de alfalfa once días después de la siembra. En suelos con bajas cantidades de P los nódulos aparecieron tres días después. Como se observa en la **Tabla 1**, el número, volumen y peso seco de los nódulos puede incrementarse al controlar la deficiencia de P. Los nódulos se tornan rosados, se desarrollaron más rápido y se vuelven

activos en respuesta a la fertilización fosfórica.

### **Efecto del fósforo en el rendimiento y contenido de nitrógeno en las leguminosas**

Otros estudios demuestran que la aplicación de P a suelos de contenido bajo puede incrementar el porcentaje de N en las leguminosas y producir mayor rendimiento de materia seca (**Tabla 2**). Esta es una de las razones por las cuales las leguminosas, dependientes de N simbiótico, tienen un mayor requerimiento de P que los pastos que dependen de fuentes externas de N.

### **Comentarios de la relación entre el fósforo y la fijación de nitrógeno**

- Los nódulos se desarrollan cuando los pelos radiculares (creciendo desde raíces activas) se infectan con la bacteria *Rhizobium*. El tejido de la planta crece alrededor del área infectada, formando el nódulo donde crece la bacteria y fija N elemental de la atmósfera del suelo. Cualquier restricción al desarrollo de la raíz, escasez de nutrientes esenciales como P y molibdeno (Mo), suelo excesivamente ácido o una reducción en la fotosíntesis pueden restringir la nodulación y la fijación de N.
- El proceso de fijación de N requiere de una fuente disponible de energía para el crecimiento bacteriano y la transformación de  $N_2$  en  $NH_3$ . La fotosíntesis

**Tabla 1. Los efectos del fósforo en el desarrollo de nódulos de alfalfa, 26 días después de la siembra.**

Dosis de $P_2O_5$ kg/ha	Medidas de desarrollo de los nódulos		
	Peso seco	Peso nódulo	Contenido de N
0	0.13	13	0.01
140	1.06	28	0.07
280	3.31	60	0.15

**Tabla 2. Los efectos de la fertilización fosfórica en el rendimiento y el contenido de Nitrógeno en las leguminosas.**

Cultivo	Rendimiento, kg/ha		N en los tejidos, %	
	- P	+ P	- P	+ P
Trébol	2688	3808	2.5	2.8
Alfalfa	5578	11995	3.8	4.3

genera los azúcares de alta energía. El P provee el mecanismo de almacenamiento de esta energía en la forma de ATP y facilita su transferencia a sitios donde ocurren funciones vitales de la planta, como la fijación de N.

- El transporte de los productos de la fotosíntesis desde las hojas hasta las raíces y el movimiento de los compuestos que contienen N desde los nódulos hacia otras partes de la planta son vitales para que un sistema simbiótico sea eficiente. El P es una



**Foto 1. El fósforo promueve el crecimiento de las raíces y la fijación de nitrógeno en las leguminosas. Estos nódulos de raíces de soya contienen la bacteria fijadora de nitrógeno.**

parte integral de los compuestos necesarios para empujar el sistema.

- La concentración de P en el tejido de nódulos activos es a menudo 2 a 3 veces más alta que en las raíces en que se formaron. Las leguminosas necesitan un suplemento rápido de P disponible en el suelo. Esta disponibilidad es importante durante periodos críticos del ciclo de crecimiento como por ejemplo el desarrollo de las raíces de las plántulas.

### Resumen

El P juega un importante papel en el proceso de fijación simbiótica de N por la siguientes razones:

- Incrementa el crecimiento de las raíces y de la parte alta aérea (el mal crecimiento de las raíces reduce la habilidad de la planta para fijar N).
- Reduce el tiempo para que los nódulos en desarrollo se vuelvan activos y beneficien a la leguminosa hospedera.
- Incrementa el número y tamaño de los nódulos y la cantidad de N asimilado por unidad de peso de nódulos.
- Incrementa el porcentaje y cantidad total de N en la porción cosechada de la leguminosa.
- Mejora la densidad de Rhizobium en el suelo alrededor de la raíz.↘