

Molibdeno en semilla de Soja

(Traducción y adaptación de los trabajos de la FUNDACIÓN MS - Mato Grosso, Brasil.)

La soja necesita absorber y/o fijar alrededor de 332 kg./ha de nitrógeno y absorber 24 g/ha de molibdeno para producir 4,0 tn/ha. A pesar de la pequeña cantidad de molibdeno, esta es indispensable en la obtención de mayores productividades, por participar directamente en la fijación de nitrógeno. La mayor parte del nitrógeno necesario para el cultivo de soja viene a través de la simbiosis, que se traduce en el desarrollo de nódulos radiculares, nichos ecológicos, en el interior de los cuales las bacterias se multiplican y transforman el N₂ del aire en Amonio (NH₃). Este, a su vez, es el intermediario clave en el proceso de fijación, marcando el comienzo de la incorporación de nitrógeno en compuestos orgánicos (aminoácidos y proteínas). La nitrogenasa, enzima responsable de este proceso, está compuesta por dos proteínas: **1) molibdeno-hierro-proteína** (posee 24 átomos de Fe y 2 átomos de Mo), y **2) hierro-proteína** (posee 4 átomos de hierro).

Del total del molibdeno absorbido por la soja, más del 80% es exportado por los granos, así, a través del uso continuo del suelo para la producción agrícola, con el pasar de los años, se disminuyen las reservas contenidas, y este micronutriente se torna deficiente pasando a limitar la productividad. Trabajos recientes muestran que no solamente el suelo está deficiente en molibdeno, sino también las semillas producidas por plantas cultivadas en estos suelos, presentan bajo tenor en molibdeno y, consecuentemente, menor peso de 1000 semillas y menor tenor de proteína. En este sentido, VOSS et al (1996), evaluando 88 muestras de semillas de soja provenientes de 36 municipios de Río Grande do Sul, encontró tenores de molibdeno en semillas entre 0,1 a 3,9 mg/kg (ppm)., siendo que más del 50% de las muestras presentaron tenores menores a 1,2 mg/kg (ppm). De esta misma forma, YAMADA (1999), analizando semillas de soja provenientes del Estado de Paraná y de la región de Uberlandia (MG), encontró tenores de molibdeno en las semillas de alrededor de 0,03 mg/kg (ppm).

Esto muestra que la concentración de molibdeno presente en las semillas de soja es muy baja, siendo que para abastecer adecuadamente el cultivo de soja, las semillas tratadas deberían contener más de 40 mg/kg (ppm). Considerando que se aplica en las semillas, a la siembra, en torno de 20 g/ha de molibdeno, las mismas deberían tener una concentración de alrededor de 20 mg/kg (ppm). para poder atender todas sus necesidades en el ciclo del cultivo. SMALL et al (1973), citado por YAMADA (1999), relata que en el 80% de los casos, las plantas originadas de semillas de soja con tenores de molibdeno menores que 1,6 mg/kg (ppm)., responden a la aplicación de Mo en las semillas.

En 1997, fue determinado el nivel crítico de molibdeno en las semillas de soja, en alrededor de 3,5 mg/kg (ppm). de semilla, y la aplicación foliar de 800 gr. de Mo/ha, fue suficiente para que la semilla alcance ese nivel crítico, siendo posible que la futura planta se pueda desarrollar con autosuficiencia de este micronutriente (JACOB-NETO et al, 1999).

La aplicación de molibdeno puede ser efectuada a través de fertilización a suelo, pulverización foliar o en tratamiento de semilla. Investigaciones efectuadas demostraron que la aplicación en semilla es tan eficiente como las demás formas de aplicación, en tanto, presenta ventajas económicas, ya que se requieren cantidades muy pequeñas (9 a 27 g/ha), siendo que las pulverizaciones foliares demandan cerca de 80 g/ha y la fertilización a suelo necesita 1100 g/ha (SANTOS et al, 1987).

La deficiencia de molibdeno en el cultivo de soja, puede ser determinada de manera indirecta a través del tenor foliar de nitrógeno, si fueren encontrados valores menores a 3 ó 4% en el tejido. Por otro lado, la toxicidad de molibdeno, todavía no ha sido relatada en la literatura brasileña (SANTOS, 1999).

El cobalto (Co) forma parte de la vitamina B12, necesaria para la síntesis de leg-hemoglobina, la cual regula el suministro de oxígeno necesario al nódulo para la producción de ATP (energía) en el proceso de simbiosis. Con la falta de leg-hemoglobina se promueve un flujo de oxígeno excesivo hacia el interior del nódulo el cual es perjudicial y termina destruyendo a la enzima nitrogenasa, la cual es sensible al exceso de O₂. Su uso es recomendado asociado a molibdeno en la dosis de 1 a 5 g/ha, ya que la dosis de 6 g/ha aplicada a semilla, generalmente causa fitotoxicidad en las plantas emergidas.

Estudios conducidos en RS durante cinco campañas, permitieron constatar respuesta a la aplicación de cobalto en las semillas en 2 de ellas: en una con respuesta lineal hasta la dosis de 2,0 g/ha (SANTOS, 1999).

La fitotoxicidad de cobalto es caracterizada por clorosis y necrosis en los bordes de las hojas primordiales y ocurre porque el exceso de Co en el medio disminuye la absorción de hierro (Fe). Generalmente, se verifica esta fitotoxicidad cuando se aplica a las semillas una dosis de Co de alrededor de 4,5 g/ha a través de formulaciones líquidas, pues las mismas proporcionan una absorción más rápida del Co. Aunque, cuando ocurre, es por un período corto de tiempo (en torno de 10 días), pues con el crecimiento del sistema radicular, las raíces ocupan un volumen mayor de suelo y absorben más nutrientes (entre ellos el hierro) y los síntomas desaparecen.

En términos prácticos: para la obtención de alta productividad, la soja tiene que fijar grandes cantidades de Nitrógeno; el Mo y el Co contribuyen para que esto ocurra.

Sigue un breve resumen sobre molibdeno y cobalto:

1. Molibdeno

- MoO_4^{-2} → Forma absorbida;
- $\text{H}_2\text{PO}_4^{-2}$ → Estimula la absorción y el transporte a larga distancia;
- SO_4^{-2} → Inhibe la absorción (tal vez por competición);
- Fe^{+2} → Favorece la absorción de MoO_4^{-2} ;
- La concentración de Mo en los nódulos llega a ser 10 veces mayor que en las hojas;
- Actúa como cofactor en las enzimas nitrogenasa, reductasa de nitrato y oxidasa de sulfato;
- La reducción de nitrato a nitrito es catalizada por la enzima nitrato reductasa, que requiere la presencia de Flavina (NAD) y Mo durante la reacción;
- Más del 58% de Mo requerido por la soja es absorbido en los primeros 45 días;
- MoO_4^{-2} → tiene movilidad media en el floema;
- MoO_4^{-2} → tiene absorción lenta por la hoja, en torno de 4% en 24 horas.

2. Cobalto

- Forma absorbida por el sistema radicular (Co^{+2});
- Es esencial para la fijación de N_2 por el sistema simbiótico;
- Es parte constitutiva de la vitamina B12 → cobamida;
- Cuando es absorbido vía foliar es prácticamente inmóvil;
- Exceso de cobalto en el medio → disminuye la absorción de Fe^{+2} (principalmente) y Mn.

La situación en Argentina

En Argentina prácticamente no hay referencias de estudios realizados específicamente sobre el tema molibdeno en soja, pero sí hemos encontrado respuestas significativas a las aplicaciones de este micronutriente en el cultivo de soja, del orden de los 3 a 4 quintales por hectárea en todas las provincias en donde se realiza este cultivo. Es por eso que agroEstrategias en conjunto con la firma AGROSUMA, tomando como base los trabajos desarrollados en Brasil, comenzó a realizar estudios más profundos en este sentido. En el **gráfico 1** puede apreciarse un esquema de la acción del Molibdeno y del Cobalto en la Fijación Biológica del Nitrógeno.

Entre los fundamentos de este trabajo iniciado se tuvieron en cuenta algunas características de los suelos, especialmente pH del mismo y algunas prácticas culturales que han ido ganando terreno en los últimos años, con especial énfasis en la fertilización azufrada.

En este sentido es importante remarcar que el molibdeno (Mo) es un micronutriente cuya disponibilidad para las plantas se hace mayor a medida que el pH del suelo aumenta, siendo máxima con valores mayores a 7. Con respecto a la fertilización azufrada, hay una relación estrecha entre azufre (SO_4^{-2}) y molibdeno (MoO_4^{-2}). Estos dos elementos presentan un marcado antagonismo; ambos se absorben como aniones, tienen la misma carga eléctrica y son muy similares también en sus tamaños. Esto hace que en suelo compitan por los mismos sitios de adsorción, y siendo el azufre un macronutriente y el molibdeno un micronutriente, el antagonismo siempre se resolverá a favor del azufre y por ende en perjuicio del molibdeno.

Tomando en consideración este aspecto, la fertilización azufrada es un indicativo muy importante para estimar la deficiencia potencial de Molibdeno en semillas de soja.

En la campaña agrícola 2000-2001 el trabajo comenzó con un monitoreo del contenido de molibdeno en semillas de sojas. Para ello se recolectaron 49 muestras de semillas de soja desde la localidad de Tandil en provincia de Buenos Aires hasta la localidad de Orán en la provincia de Salta. Estas muestras fueron analizadas en Brasil de acuerdo a la técnica desarrollada en ese país. Los resultados de este monitoreo pueden verse en la **tabla 1**.

Entre las primeras conclusiones que pueden apreciarse del presente trabajo son las siguientes:

- El **80%** del total de las semillas de soja analizadas se encontraron deficientes en molibdeno (tenor menor a 3,5 mg/kg).
- El **95%** de las muestras provenientes de Pampa Húmeda (Buenos Aires, Santa Fe, Córdoba y Entre Ríos) se encontraron con tenores por debajo de 3,5 mg/kg (ppm) de Molibdeno, es decir en condiciones de deficiencia. Esto es esperable que sea así por tener los suelos de esta región pH muy por debajo a 7 y al mismo tiempo cada vez más generalizada la práctica de la fertilización azufrada.
- La muestra de semilla de soja correspondiente a la provincia de Santa Fe, y que no presentó la deficiencia, había sido tratada durante el cultivo con molibdeno, de ahí el tenor tan alto para una soja de esta región.
- El **53%** de las semillas de soja provenientes del norte del país (Salta, Santiago del Estero, Tucumán) no se encontraron deficientes en molibdeno. Esto es esperable en función de los pH de los suelos de estas zonas, el cual es, en términos generales, mayor a 7 y por lo tanto el molibdeno se encontraría más disponible. Sin embargo un **47%** sí mostró la deficiencia, lo que podría estar indicando que el micronutriente no se encuentre presente en suelos, siendo ésta una de las razones de las respuestas encontradas en soja, en esta amplia zona, a la aplicación de Mo.
- Otro aspecto a remarcar es, que si bien pueden existir diferencias genéticas entre las variedades involucradas en este estudio, la condición de deficiencia de molibdeno se presentó prácticamente en todos los materiales.
- La tecnología de monitoreo nutricional en semilla, puede ser utilizada precisamente como herramienta de diagnóstico y permite aportar datos para hacer más eficiente el manejo de la fertilización en cultivo de soja.

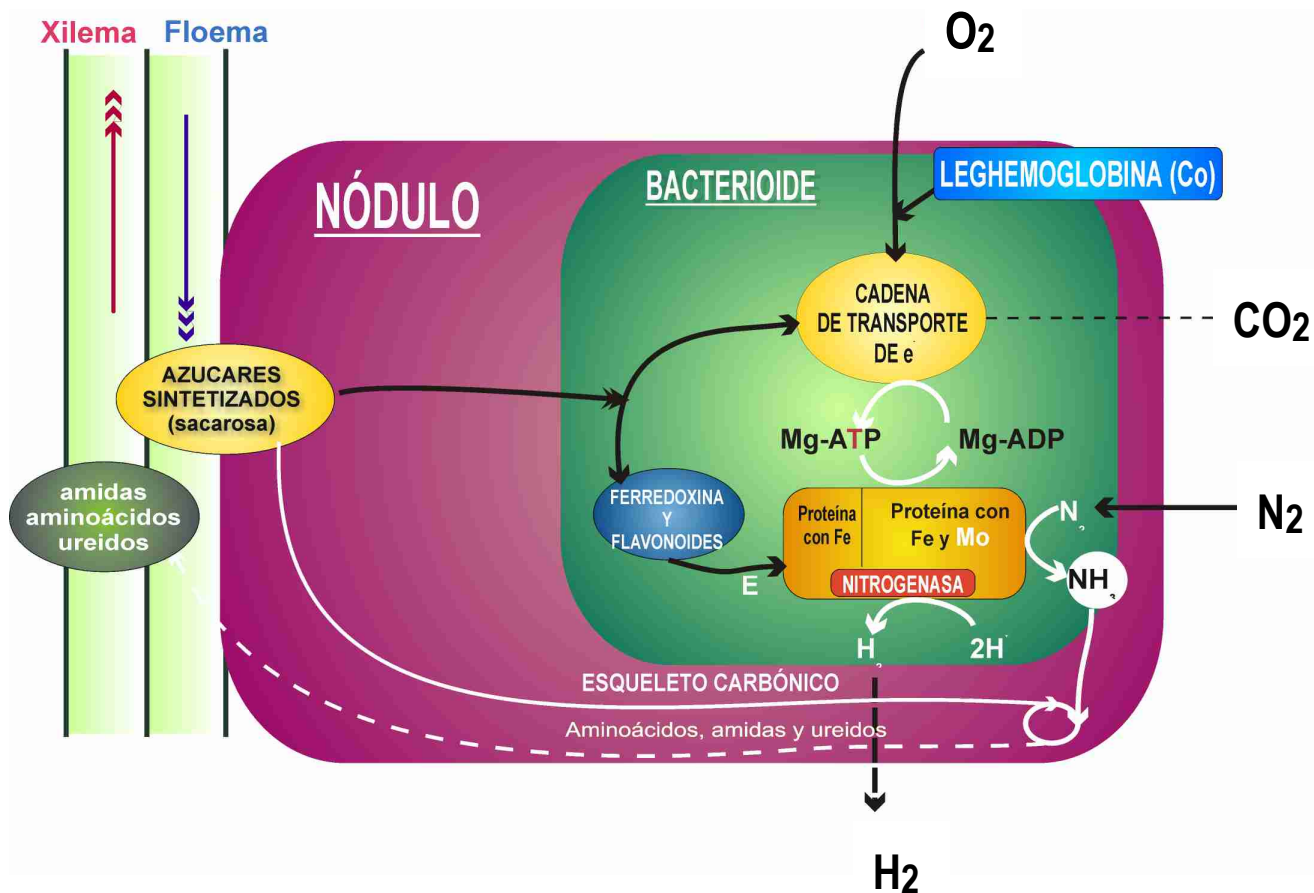


Gráfico 1: Esquema de la participación del Molibdeno (Mo) y Cobalto (Co) en la Fijación Biológica de Nitrógeno en la semilla de soja (fuente: agroEstrategias consultores).

Tabla 1

Contenido de Mo en semillas de soja y probabilidad de respuesta a la aplicación

Variedad	Zona	Provincia	Referencia	Mo	
AX 3401 silo 1	Teodelina - San Marcelo	Santa Fe	J. Avellaneda	4,0	No deficientes en Mo > a 3.5 ppm
FT 2000	LIAG	Salta	LIAG	4,0	
A8000(SILO)	Burruyacú	Tucumán	Fabian Paz	4,0	
CAMPEONA	Burruyacú	Tucumán	Fabian Paz	4,0	
A 6401	Burruyacú	Tucumán	Fabian Paz	4,0	
COKER 6738	Burruyacú	Tucumán	Fabian Paz	4,0	
ANTA 82	Abra Grande - Orán	Salta		4,0	
CRISTALINA	Tartagal	Salta	C. DOÑA - Los Cordobeses	3,5	
ESTRELA	Piquete Cabado	Salta	AGROFUTURO-Lucas Norris	3,5	
P 9492	Corral de Bustos	Córdoba	Omar Naut	3,5	
P9396RR silo 5	Teodelina - San Marcelo	Santa Fe	Avellaneda	3,0	Deficientes en Mo < a 3.5 ppm
DM 3800 RR silo 7	Teodelina - San Marcelo	Santa Fe	Avellaneda	3,0	
FT 2000	Tartagal	Salta	C. DOÑA - Los Cordobeses	3,0	
N 3901 silo 1 lote R3	Juelén	Santa Fe	J. Avellaneda	3,0	
AX 4456 silo 6 lote 134	Elisa	Santa Fe	J. Avellaneda	3,0	
P 94B41	Corral de Bustos	Córdoba	Andrés Gobatto	3,0	
P94B01 silo 5	Corral de Bustos	Córdoba	Hugo Ghío	3,0	
DM 3800 silo 3	Corral de Bustos	Córdoba	Hugo Ghío	3,0	
P94B41 silo 24	Corral de Bustos	Córdoba	Hugo Ghío	3,0	
A 8000	Apolinario Saravia	Salta	C. DOÑA	3,0	
R 5436	Zenón Pereyra	Santa Fe	Leandro Forzani	2,5	
AX 3901 RR silo 4	Teodelina - San Marcelo	Santa Fe	J. Avellaneda	2,5	
2	Tandil	Buenos Aires	Ing. Lafaille	2,5	
6401 RR	Santa Clara de Buenavista	Entre Ríos	César Quintero	2,5	
P 5409	Santa Clara de Buenavista	Entre Ríos	César Quintero	2,5	
DORADA	Paraná	Entre Ríos	César Quintero	2,5	
AX 4100 silo 1 lote 26	Juelén	Santa Fe	J. Avellaneda	2,5	
P9396 silo 4 lote R2	Juelén	Santa Fe	J. Avellaneda	2,5	
AX 4100 silo 3 lote 19	Juelén	Santa Fe	J. Avellaneda	2,5	
P9396 silo 5 lote 29	Elisa	Santa Fe	J. Avellaneda	2,5	
ASGROW 4100 silo 1	Corral de Bustos	Córdoba	Hugo Ghío	2,5	
A 6401	Zenón Pereyra	Santa Fe	Leandro Forzani	2,0	
AX 4429 silo 6	Teodelina - San Marcelo	Santa Fe	J. Avellaneda	2,0	
AX 4100 RR silo 3	Teodelina - San Marcelo	Santa Fe	J. Avellaneda	2,0	
DM 48 silo 2	Teodelina - San Marcelo	Santa Fe	J. Avellaneda	2,0	
1	Tandil	Buenos Aires	Ing- Lafaille	2,0	
P 9492	Santa Clara de Buenavista	Entre Ríos	César Quintero	2,0	
A 6401	Santa Clara de Buenavista	Entre Ríos	César Quintero	2,0	
A 6401(Silo Medio)	Pergamino	Buenos Aires	Santiago Cabral	2,0	
6001	Paraná	Entre Ríos	César Quintero	2,0	
TJ 2000	Paraná	Entre Ríos	César Quintero	2,0	
HM 464	Pampa Sumaj	Santiago	Finanzas y Hacienda	2,0	
MARIA 55	Mollinedo	Salta	AGROFUTURO-Lucas Norris	2,0	
A 6401	Mollinedo	Salta	AGROFUTURO-Lucas Norris	2,0	
A 8000	Mollinedo	Salta	AGROFUTURO-Lucas Norris	2,0	
4700	Corral de Bustos	Córdoba	Daniel Bodino	2,0	
6445 (Silo Marrón Derecha)	Pergamino	Buenos Aires	Santiago Cabral	1,5	