



Alfalfa biofortificada con boro: el match planta – cabra

Xileme Yaquin González-Hidalgo¹
Steffanny Sánchez-Portillo²
Sarahí del Carmen Rangel-Ortega¹
Fabián Pérez-Labrada²

¹Departamento de Ciencia y Tecnología de Alimentos, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Calzada Antonio Narro 1923, Buenavista Saltillo, Coahuila de Zaragoza, Mexico

²Departamento de Botánica, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Calzada Antonio Narro 1923 Bellavista Saltillo, Coahuila de Zaragoza, Mexico

*Autor para correspondencia: fabian.perezl@uaaan.edu.mx

¿Sabías que las plantas de alfalfa, al requerir una gran cantidad de boro (B) pueden ser biofortificadas? Sorprendentemente al incrementar la concentración de este nutriente se mejora el contenido de proteínas y, cuando las cabras consumen este forraje su metabolismo y la calidad de la leche son promovidos. Por ello, te invitamos a conocer más sobre este lazo.



Introducción

La alfalfa es un forraje producido mayormente en el norte del país, sobre todo en los estados de Chihuahua, Coahuila, Durango y Sonora y se caracteriza por tener altos niveles proteicos, por lo que es ideal para la alimentación del sector pecuario. Este cultivo forrajero demanda altas cantidades de boro (B) para lograr una adecuada metabolización del nitrógeno y formación de proteínas, esto se debe a que el B promueve la actividad de enzimas asociadas con la fijación de nitrógeno

atmosférico (N_2) en los nódulos: nitrogenasa y nitrato reductasa (Tabla 1). Este elemento muestra especial relevancia porque participa en la movilización de azúcares alrededor de la planta. En suelos agrícolas el contenido de este elemento oscila entre los 7 a 80 ppm, pero menos del 5% está realmente disponible por lo que en ocasiones, el tipo de suelo y/o estrategias de manejo agrícola, provocan que las plantas no tengan un buen contenido de B.





Ante ello se implementan estrategias como la biofortificación que buscan incrementar la concentración del nutriente y de los biocompuestos en el tejido de interés de los cultivos; para el caso de la alfalfa sería en el tejido foliar.

Tabla 1. Nutrientes más importantes en la estructura de la alfalfa

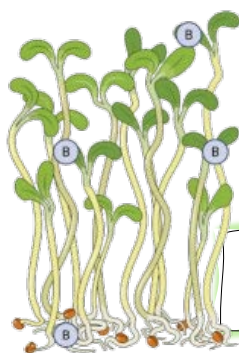
Estructura	Alfalfa
Boro (B)	Interviene en la formación de la pared celular y tejidos nuevos, promueve síntesis de Uracilo, mejora la traslocación de azúcares, promueve enzima nitrogenasa y nitrato reductasa.
Nitrógeno (N)	Contribuye al crecimiento vegetativo y a la clorofila.
Calcio (Ca)	Mantiene la estructura de los tejidos.
Potasio (K)	Mantiene la firmeza y estructura celular.

La biofortificación busca incrementar la concentración de nutrientes en las partes comestibles de las plantas mediante técnicas como la fertilización ya sea edáfica o foliar.

Desarrollo

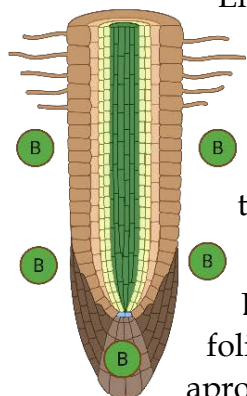
El papel del boro en las plantas de alfalfa

Vamos a comenzar mencionando que en el suelo el B puede presentarse como ácido bórico (H_3BO_3) o bien como tetrahidroxiborato $[B(OH)_4]^-$. En ambos casos el B se mueve hacia la raíz por flujo de masa y en menor medida por difusión. Una vez que llega a la raíz el B puede ingresar a la planta a través de la membrana plasmática o bien por medio de pequeñas puertas especializadas llamadas canales específicos y transportadores de borato.



El cultivo de alfalfa puede ser biofortificado con Boro

Al aplicarse de manera foliar el B inicialmente debe esquivar algunas barreras en la cutícula (como los tricomas o algunas ceras) y enseguida tomar las mismas rutas hacia el interior de la hoja.



El B mejora el desarrollo de los haces vasculares gracias a su asociación con las paredes celulares (donde incrementa la estructura y la permeabilidad). De igual manera este elemento se asocia con el metabolismo de los fenoles y la fijación de nitrógeno atmosférico (N_2). Así mismo durante la fase de floración el B permite la maduración del polen así como el crecimiento del tubo polínico. Otro papel crucial del B es el transporte y el uso de fotoasimilados (azúcares).

La alfalfa está clasificada como un cultivo muy exigente de B (el contenido foliar oscila entre 30 – 80 ppm) por lo que sus necesidades se encuentran aproximadamente en 0.45 kg de B/tonelada para un rendimiento aproximado de 15 toneladas/hectárea. Por ello es fundamental el adecuado contenido de B para promover la síntesis de proteínas y el transporte de azúcares.

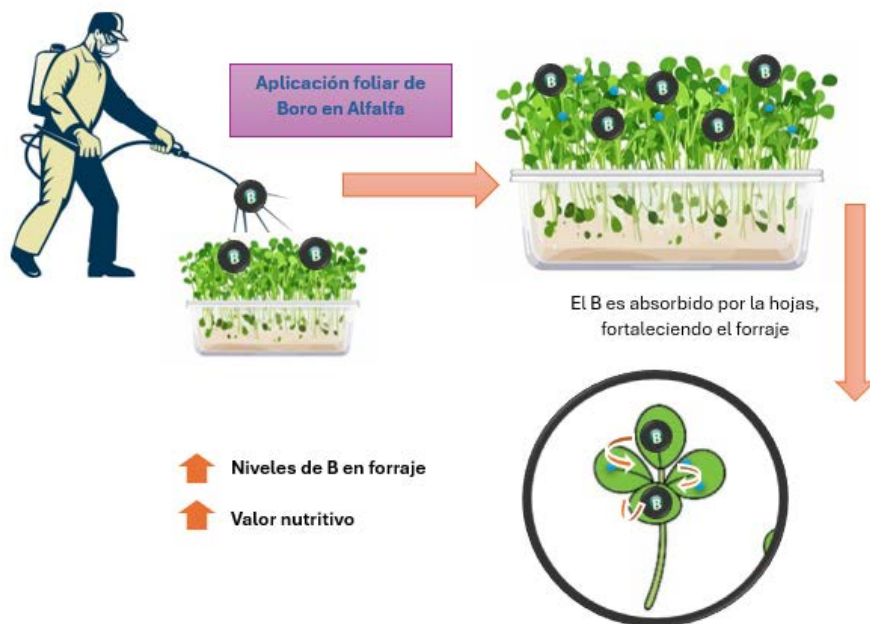
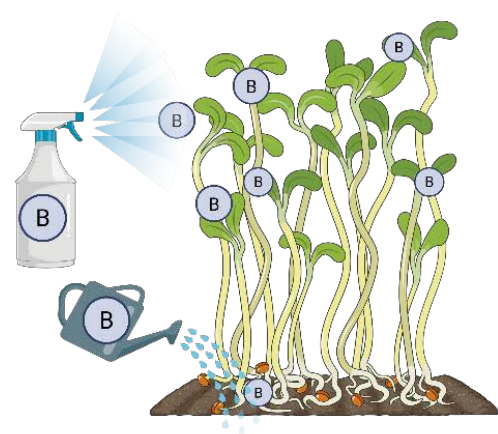


Figura 1. Aplicación foliar de boro en plantas de alfalfa como estrategia para biofortificación (Elaboración propia).

En ese sentido este elemento puede aplicarse al suelo o bien a través de aspersiones foliares (Figura 1), ya sea usando ácido bórico (H_3BO_3), tetraborato de sodio (bórax, $Na_2B_4O_7 \cdot 5H_2O$) o bien en forma de quelato.



La aplicación foliar permite un efecto más rápido pero temporal, ya que este elemento puede quedarse “atrapado” en las hojas de la planta lo que reduce su movilidad, por ello se sugiere realizar aplicaciones periódicas. Bajo este panorama se requiere determinar dosis, número y momentos de aplicación de B en alfalfa para lograr máximos beneficios.

Las aplicaciones de B ayudan a la mejora en la calidad del forraje; si el corte se realiza en alfalfa con deficiencia de B, las hojas suelen secarse rápidamente. Si hay pérdida de hojas la cantidad de proteínas en el forraje disminuye, al igual que su rendimiento.

Cabe señalar que el ambiente hídrico de las plantas condiciona fuertemente la movilidad del B a través de la planta. En regiones áridas, donde comúnmente se desarrolla el cultivo de alfalfa, los problemas hídricos y la deficiencia de B son altamente probables.

Cuando se presenta una deficiencia de B las plantas muestran ondulaciones en la parte central de las hojas así como una decoloración en la parte superior de las hojas con tonos amarillentos, rojizos o dorados. Mientras que la toxicidad se observa con quemaduras en los bordes (Figura 2).

El Boro beneficia el metabolismo tanto de la planta como de la cabra.



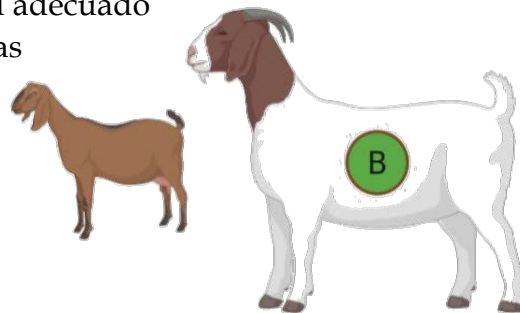
Figura 2. Síntomas de toxicidad por boro en plantas de alfalfa (Fotografía por: Gonzalez-Hidalgo).



El papel del boro en la cabra

El B tiene doble relevancia ya que interviene tanto en el desarrollo de la planta como en la producción de leche. En la cabra el B actúa como micronutriente para el beneficio del metabolismo, además de que contribuye a la mejora de la fertilidad y función testicular. Así mismo el B se asocia con la formación ósea, respuestas inmunitarias, regulación del metabolismo mineral, reducción del estrés oxidativo y fortalecimiento del sistema de defensa antioxidante. Así el adecuado aporte de B además de promover el bienestar de las plantas puede aumentar la productividad animal.

La deficiencia de B en cabras se asocia a una baja ingesta de este nutriente en su dieta y se caracteriza por problemas óseos y bajo peso del animal.



La biofortificación
con Boro fortalece
el desarrollo la
planta

En contraste un exceso de B genera irritación intestinal que reduce el apetito del animal y como consecuencia hay pérdida de peso además de causar posible daño reproductivo.

Alfalfa enriquecida con boro y su impacto en la cabra: el match.

Varios estudios demuestran que las dietas ricas en B pueden mejorar el contenido de calcio en el suero de corderos, cabras, ovejas y vacas además de impactar las hormonas (incrementando estradiol, progesterona y testosterona), mejoran el crecimiento de tejidos lisos, optimiza la cicatrización de heridas y sorprendentemente mejora inmunidad, flora intestinal y calidad del semen en animales. Estas respuestas se deben a que el B al formar complejos de éster y azúcares estabiliza la síntesis de adenosina fosfato y adenosilmetionina. De igual manera el B puede promover la concentración de ácidos (acético, butírico, isobutírico y propiónico) así como ácidos grasos totales de cadena corta, estas respuestas mejoran la producción y, potencialmente, la calidad de leche de cabra.



Figura 3. Plantas de alfalfa biofortificada con boro y su impacto en la producción de leche de cabra.

Retos para la juventud

Adoptar alfalfa biofortificada como parte de la dieta de las cabras puede ofrecer una leche de alta calidad; sin embargo, existen dificultades como las alteraciones microclimáticas y la falta de agua que pueden llegar a limitar la puesta en marcha de esta estrategia. En ese sentido se requiere del sector juvenil para que actúe como un puente entre el sector agrícola y el sector académico, esta propuesta, además de permitir su inserción en el campo, logrará difundir el conocimiento.



Además este sector poblacional presenta mayor facilidad para aprender y emplear el uso de tecnologías novedosas y emergentes que pueden orientar el desarrollo de investigaciones enfocadas a la biofortificación de B en alfalfa y su impacto en el metabolismo de la cabra.

El consumo de alfalfa biofortificada con Boro puede mejorar la calidad de la leche de cabra.



Conclusión

La alfalfa biofortificada con B puede mejorar el rendimiento y calidad tanto del forraje como finalmente el de la leche producida. Pero es imperativo implementar futuros estudios encaminados sobre dosis óptimas y sostenibilidad agrícola que promueva un uso racional del B en el cultivo de alfalfa.

Literatura recomendada

Gress-Davila, M., & Pavón-Hernández, N.P. (2025). Agua de acuíferos usada para riego de forrajes en Ahumada, Chihuahua, México. *Pädi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías del ICBI*, 13(25), 83-90.
<https://doi.org/10.29057/icbi.v13i25.12776>

Lestari, M.W., Pujiwati, I., Karyawati, A.S., & Demirkiran, A.R. (2026). Alternative growing media to increase growth performance and quality of Amaranthus, broccoli, watercress, alfalfa, mung bean, and pea shoot microgreens. *Journal of Ecological Engineering*, 27(3), 288-296.
<https://doi.org/10.12911/22998993/213649>

Moreira, A., Moraes, L.A., Filho, M.C.T., Delfim, J., & Romagnolli, S.R. (2025). Boron extractants, shoot dry weight yield, and nutritional status of alfalfa grown in different soil types. *Journal of Plant Nutrition*, 48(11), 1950-1961.
<https://doi.org/10.1080/01904167.2025.2461749>



Semblanzas de autores



Xileme Yaquin Gonzalez-Hidalgo

Estudiante de la carrera de Ingeniero en Alimentos en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.



Steffanny Sánchez-Portillo

Ingeniera Agroindustrial por la Universidad Popular del Cesar. Maestra en Ciencias en Tecnología de los Alimentos por la Universidad Autónoma de Coahuila. Doctorando en Ciencias en Agricultura Protegida en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Miembro activo del Grupo de investigación en ingeniería de producto y procesos agroindustriales – GIPA.1.



Sarahi del Carmen Rangel-Ortega

Ingeniera en Ciencia y Tecnología de Alimentos por la UAAAN. Maestra en Ciencias de los Alimentos por el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD), Hermosillo, Sonora. Dra en Ciencias en Tecnología de los Alimentos por la Universidad Autónoma de Coahuila. Miembro del Cuerpo Académico Bioprocesos Agroalimentarios del Departamento de Ciencia y Tecnología de la UAAAN.



Fabián Pérez-Labrada

Profesor Investigador de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro en el Departamento de Botánica.