

EL BORO COMO NUTRIENTE ESENCIAL.

PARTE I: ASPECTOS FISIOLÓGICOS Y DINÁMICA EN SUELO

AUTOR:

Antonio L. Alarcón Vera

Dpto. Producción Agraria. Área Edafología y Química Agrícola. ETSIA. Universidad Politécnica de Cartagena

De infoagro.com.

1. ESENCIALIDAD.

El boro como elemento químico fue descubierto en 1808 por Gay Lussac y Thenard. Es un metaloide, con propiedades intermedias entre metales y no metales. El hecho de que el boro se encuentra como elemento mineral integrante de algunas plantas fue puesto de manifiesto por Wittstein y Apoiger en 1857. En 1895, Jay señaló que este elemento estaba repartido universalmente por todas las plantas. Bertrand, en 1912, ya señaló el empleo de sales de boro para mejorar el rendimiento de los cultivos. Bien es cierto, que inicialmente el boro se identificó como elemento venenoso para las plantas, debido a los efectos negativos causados al ser aplicado.

El primer científico que señaló la posibilidad de su esencialidad fue Mazé, en 1914. Pero fue Warington en 1923 quien primero demostró su esencialidad. La aceptación final del boro como elemento esencial se debe a Sommer y Lipman, en 1926. En 1931, Brandenburg descubrió que el corazón podrido de la remolacha se debía a una deficiencia de boro, y desde entonces se han ido descubriendo gran variedad de cultivos que pueden quedar gravemente afectados por una carencia de este elemento.

El boro es un micronutriente esencial para plantas vasculares, diatomeas y algunas especies de algas verdes. No parece ser esencial para hongos y bacterias (con la excepción de cianobacterias), tampoco lo es para animales. Parece que los requerimientos de boro se hacen esenciales de forma paralela a la lignificación y diferenciación xilemática de los integrantes del reino vegetal.

2. EL BORO EN LA PLANTA.

2.1. Absorción y transporte.

El boro es absorbido por las plantas principalmente bajo la forma de ácido bórico H_3BO_3 no disociado, fundamentalmente mediante los mecanismos de flujo de masas (65%) y difusión (32%). Aunque parece que en alguna extensión se absorbe de forma activa como anión borato $B(OH)_4^-$, el proceso de absorción es inicialmente pasivo (por difusión en el espacio libre), seguido después de una absorción activa en el espacio interno. Aunque todo esto no está muy claro, el componente activo parece ser relativamente pequeño y puede depender de la variedad cultivada o de la cantidad de boro asimilable presente.

El boro es relativamente poco móvil en el interior de las plantas, y los contenidos son superiores en las partes basales respecto a las partes más altas de las plantas, especialmente si el boro está en exceso. El ritmo de transpiración ejerce una influencia decisiva sobre el transporte de este elemento hasta las partes altas de la planta, en caso de deficiencia, los contenidos en los tejidos más jóvenes decrecen rápidamente. Se admite que, más que un elemento móvil o inmóvil en el interior de la planta, el boro es transportado vía xilema, pero se retransporta con dificultad vía floema (al igual que el calcio, si bien es cierto que es más móvil que éste), con lo que no emigra desde las hojas hasta los nuevos puntos de crecimiento (frutos, meristemas, hojas en formación, etc.), donde existe la necesidad de un suministro regular de éste y todos los nutrientes.

Todo esto podría explicar la acumulación de boro en los tejidos más viejos y también en las puntas y márgenes de las hojas, aunque también podría constituir un mecanismo de defensa de algunas especies contra su efecto tóxico.

Por tanto, la acumulación del boro en hoja va a depender del contenido del suelo en boro asimilable, del flujo de savia en el xilema y del ritmo de transpiración.

2.2. Fisiología del boro. Funciones.

Las funciones fisiológicas del boro no están todavía aclaradas totalmente. Su papel en el metabolismo vegetal, quizá sea el más desconocido de todos los nutrientes esenciales, pese a ser el micronutriente que mayores concentraciones molares presenta, al menos en dicotiledóneas, cuyos requerimientos en boro son muy superiores a monocotiledóneas.

El boro actúa siempre con valencia III, por lo que no interviene en ningún proceso redox en el interior de los vegetales. No se ha encontrado formando parte de ningún sistema enzimático, aunque sí puede actuar como modulador de actividades enzimáticas. También se ha demostrado que en casos determinados, puede ser parcialmente sustituido por germanio, aluminio o silicio.

Todo lo anterior no quiere decir que no desempeñe funciones biológicas esenciales para la planta, como a continuación veremos, el boro desempeña un papel esencial en el transporte de azúcares, en la síntesis de sacarosa, en el metabolismo de ácidos

nucleicos, en la biosíntesis de carbohidratos, en la fotosíntesis, en el metabolismo proteico, en la síntesis y estabilidad de las paredes y membranas celulares, etc.

2.2.1. Elongación de raíz y metabolismo de ácidos nucleicos.

Un aspecto general de la deficiencia en boro es el mal desarrollo de los tejidos meristemáticos, tanto a nivel de raíz como de los brotes. Los primeros síntomas reflejan dificultades en la división y desarrollo celular. Las células se dividen pero la separación no se produce correctamente, con lo cual se presenta un desarrollo incompleto e irregular de las hojas, que aparecen distorsionadas, y una falta de elongación de los entrenudos.

A nivel de raíz, el boro es requerido primeramente para la elongación de las células, y posteriormente para la división de las mismas.

Un efecto de la deficiencia de boro es la inhibición de la síntesis de ADN y ARN. La alteración en la síntesis de ARN puede deberse a la esencialidad del boro en la síntesis de bases nitrogenadas como el uracilo. De esta forma los ribosomas no se pueden formar y en consecuencia, la síntesis de proteínas es afectada adversamente. Este proceso es fundamental en los tejidos meristemáticos radicales, que cesan su división celular, apareciendo las raíces más cortas y abollonadas.

2.2.2. Metabolismo de glúcidos.

El boro también juega un papel importante en la utilización y en la distribución de los glúcidos dentro de la planta. La deficiencia de boro provoca una acumulación de azúcares en los tejidos. Se cree que el boro facilita el transporte de azúcares a través de la membrana formando un complejo azúcar-borato. También ha sido demostrada la intervención directa del boro en la síntesis de sacarosa (donde se precisa uracilo) y almidón. Así por ejemplo, la remolacha azucarera presenta unos niveles de azúcar mucho más elevados si está correctamente nutrida en boro.

2.2.3. Formación de las paredes celulares. Lignificación.

El boro es necesario para la síntesis de las pectinas. Se puede observar que las paredes celulares presentan los más altos contenidos en boro (hasta el 50% del boro total de las plantas), principalmente complejo bajo la configuración *cis*-diol.

La deficiencia de B provoca un oscurecimiento de los tejidos debido a una acumulación de compuestos fenólicos. En esta situación se ve impedida la oxidación de compuestos polifenólicos que conduce a la síntesis de lignina, por lo que las paredes celulares quedan debilitadas. La acumulación de compuestos fenólicos produce necrosis del tejido.

Tallos rajados, acorchados o huecos, son síntomas macroscópicos evidentes de una alteración de la síntesis de paredes celulares ocasionada por deficiencia de boro. A nivel microscópico se observan paredes celulares de mayor diámetro y con mayor cantidad de material parenquimatoso, existe una mayor concentración de sustancias pécticas y acumulación de calosa que bloquea el transporte vía floema.

2.2.4. Metabolismo de fenoles, auxinas y diferenciación de tejidos.

La deficiencia de boro se asocia con alteraciones morfológicas y cambios en la diferenciación de tejidos, similares a los inducidos por niveles bajos o excesivos de AIA. Pero parece más probable, que las interacciones entre boro, AIA y la diferenciación de tejidos, sean una consecuencia de los efectos causados por el boro sobre el metabolismo de fenoles, los cuales se acumulan ante una deficiencia del elemento. Ciertos fenoles no sólo son inhibidores de la elongación de la raíz, si no que también inducen cambios morfológicos similares a niveles anormales de AIA.

En cualquier caso, el boro interviene en el metabolismo de las auxinas. Los tejidos deficientes en boro presentan, por lo general, una excesiva acumulación de AIA que provoca una clara inhibición del crecimiento. De la misma manera la deficiencia de boro provoca una reducción en la síntesis de citoquininas.

2.2.5. Procesos de transporte.

El uracilo, que como hemos visto precisa boro para su síntesis, es el precursor de la UDPG (uridin glucosa difosfato), que es un coenzima esencial en la formación de sacarosa, principal forma de transporte de los azúcares. Si se inhibe su síntesis, se ve afectada la translocación de los asimilados formados en las hojas.

Se comentó con anterioridad que la carencia de boro también puede conducir a la formación de calosa, compuesto cercano a la celulosa que puede obturar los tubos cribosos, afectando el transporte por el floema. Igualmente interviene en la actividad ATP-asa, fundamental en los procesos de transporte iónico, así pues, el boro juega un papel esencial en los procesos de transporte de los productos asimilados. Plantas deficientes en boro, dificultan enormemente el transporte del calcio.

2.2.6. Estabilidad de la membrana celular.

El boro tiene una influencia directa en la actividad de componentes específicos de la membrana celular, y por tanto es esencial para la estabilidad de la misma. En situaciones de deficiencia de boro, el plasmalema, membrana externa del citoplasma de las células de la raíz, se altera perjudicando la asimilación de fósforo, potasio y otros nutrientes.

2.2.7. Absorción y utilización de fósforo.

La absorción de fósforo se ve enormemente dificultada en las plantas deficientes en boro. Plantas con poco fósforo necesitan más boro que aquellas bien dotadas en fósforo. El boro es esencial en procesos metabólicos donde interviene el fósforo:

- Síntesis de ácidos nucleicos (ARN y ADN), básicos para la síntesis proteica, donde los fosfatos son constituyentes. El papel esencial del boro en la síntesis de ácidos nucleicos ha sido puesto de manifiesto desde hace mucho tiempo.
- Actividad ATP-asa, que cataliza el paso de ATP (adenosin trifosfato) a ADP (adenosin difosfato), liberando así energía.
- El boro también regula el metabolismo de los ésteres fosfatados. La deficiencia de boro provoca una acumulación de fosfatos inorgánicos y un descenso en el contenido de fósforo orgánico. Se sintetizan menos fosfolípidos, constituyentes básicos de la membrana celular, lo que explica los desórdenes observados en la organización de la estructura celular.

Además, el boro desempeña un importante papel en el desarrollo de las micorrizas, estando plenamente demostrada la importancia de éstas en la asimilación del fósforo.

2.2.8. Otras funciones del boro.

Desempeña una función esencial en la polinización y cuajado de los frutos. Mejora el tamaño y la fertilidad de los granos de polen y tiene un importante papel en la germinación del polen y el crecimiento de los tubos polínicos. Las aplicaciones de boro mejoran la apetencia de los insectos polinizadores (abejas) por las flores, ya que resulta aumentado el nivel de néctar y se acorta la longitud del tubo de la corola, mostrándose las flores más atractivas para las abejas.

También una correcta nutrición en boro facilita resistencia a gran número de enfermedades fúngicas, bacterianas, diversas virosis e incluso a insectos, al parecer por que el boro promueve la síntesis de leucocianidina que actúa como sustancia inmunológica. También a factores climáticos (resistencia a daños causados por heladas).

Se ha visto como la deficiencia de boro provoca un aumento de cinco veces la cantidad de nicotina en la planta de tabaco. De forma similar, una correcta nutrición en boro aumenta los niveles de vitamina C y carotenos en la planta.

3. EL BORO EN EL SUELO.

Es el único microelemento no metálico. Predomina en rocas sedimentarias, debido a que es un elemento que se encuentra en cantidades importantes en el agua de mar (es el doceavo elemento en cantidad en el agua marina).

El boro asimilable para las plantas viene a coincidir con la proporción de este elemento que es soluble en agua caliente. El boro total de los suelos se encuentra bajo cuatro formas:

- Formando parte de minerales silicatados: prácticamente inasimilable por las plantas.
- Presente en la disolución del suelo.
- Adsorbido por arcillas (principalmente tipo mica) e hidróxidos de hierro y aluminio. Esta adsorción alcanza su máximo a pH 8-9.
- Ligado a la materia orgánica, de la que es liberado progresivamente por los microorganismos.

El contenido de boro total en el suelo varía de 2 a 200 ppm, del cual la mayor parte no es asimilable por las plantas, generalmente la cantidad de boro total que puede hallarse de forma asimilable es inferior al 5%. Esto es debido a que es un componente habitual de los minerales del grupo de la turmalina, granitos y otras rocas eruptivas, muy resistentes a la meteorización. En estos minerales el boro sustituye al silicio en las estructuras tetraédricas.

En la disolución del suelo, el boro se encuentra bajo la forma no disociada de ácido bórico H_3BO_3 , o como anión borato $B(OH)_4^-$. En las condiciones de pH de los suelos, la forma predominante es la no disociada, como ácido bórico, por esta razón, el boro puede ser lavado fácilmente del perfil del suelo, sobre todo a $pH < 7$. La segunda forma aumenta su presencia a pH más elevado y se encuentra adsorbida sobre arcilla (ilitas) y óxidos e hidróxidos de hierro, aluminio y magnesio.



A $pH < 7$, domina la forma H_3BO_3 , a medida que el pH supera el valor de 7, la concentración de $B(OH)_4^-$ aumenta. Este anión es adsorbido por arcillas e hidróxidos de Fe y Al, con mayor fuerza a medida que aumenta el pH, hasta encontrar un máximo de adsorción a pH 9. Por esta razón, la disponibilidad del boro disminuye con la elevación del pH y fuertes enclavados en suelos ácidos también pueden inducir su deficiencia. Si bien es cierto que para valores de $pH > 9$, debido al antagonismo con los OH^- , desciende la fuerza de adsorción del anión borato.

De esta forma, en zonas húmedas el boro es fácilmente lavado del perfil del suelo, mientras que en regiones áridas puede acumularse hasta niveles tóxicos en las capas superficiales.

Las condensaciones entre los ácidos carboxílicos de los coloides orgánicos y el ácido bórico en condiciones de pH ácido o neutro, pueden incluso resultar más estables que las uniones con los hidróxidos de hierro y aluminio y de esta forma pueden constituir las principales reservas de boro en muchos suelos agrícolas.

Resumiendo, el boro asimilable (extraíble con agua caliente) consiste básicamente en ácido bórico, y representa una pequeña cantidad respecto al boro total (entre 0.1 y 3 ppm). Los suelos arenosos, con textura ligera, contienen generalmente menos boro asimilable que los suelos arcillosos, además el boro es fácilmente lavable de los suelos de textura ligera. Existe también una estrecha correlación entre el contenido en materia orgánica y la cantidad de boro asimilable presente en un suelo. El boro asimilable está preferentemente concentrado en las capas superficiales de los suelos bien drenados, donde está íntimamente ligado a la materia orgánica.

Los síntomas de carencia de boro se presentan a partir de unos niveles críticos en el suelo, los cuales dependen de muchas condiciones (cultivo, climatología, pH del suelo, etc.). Se estima que este nivel crítico de boro asimilable es 1 ppm para suelos calizos (fuerte adsorción del ión borato a arcillas, óxidos e hidróxidos debido al elevado pH), 0.8 ppm para suelos arcillosos (retención de boro en arcillas), 0.5 ppm en suelos francos y 0.3 ppm en suelos arenosos (aunque en estos suelos el boro es fácilmente perdido mediante los procesos de lixiviación).

La corrección de la deficiencia de boro en suelos es relativamente fácil como después veremos, sin embargo hay que prestar gran atención a no rebasar los límites de toxicidad (sobre 5 ppm de boro asimilable) que se encuentran muy cerca del nivel crítico.

PARTE II: SÍNTOMAS, DIAGNÓSTICO Y CORRECCIÓN EN CULTIVOS.

1. EL BORO EN LA NUTRICIÓN Y LA FERTILIZACIÓN DE LOS CULTIVOS.

El boro juega un importante papel en la fertilización de las plantas, teniendo necesidades particularmente elevadas cuando el crecimiento en peso de las hojas es más alto y durante la floración y cuajado de frutos. El contenido en boro de los órganos reproductivos (anteras, estilos, estigmas, ovarios) es especialmente alto. El boro también tiene un importante efecto positivo en el cuajado de frutos y el proceso de formación de semillas.

Además, se constata que los suelos con tendencia a mostrar deficiencias de boro son mucho más extensos que para cualquier otro micronutriente, pudiendo abarcar unas ocho millones de hectáreas.

1.1. Factores que afectan a su disponibilidad.

Los efectos de la deficiencia de boro sobre los rendimientos y la calidad de las cosechas, es un hecho conocido desde hace mucho tiempo. Los principales factores susceptibles de influir sobre la aparición de la carencia de boro son:

- Las reservas del suelo en boro: en general son bajas en los suelos de textura gruesa y pobres en materia orgánica. Los suelos más susceptibles de mostrar deficiencias en boro son los formados sobre rocas ígneas en regiones de elevada pluviometría.
- El pH del suelo: la asimilabilidad del boro disminuye a medida que aumenta el pH del suelo. Este hecho hace que los suelos calizos sean propensos a mostrar deficiencias en boro, y más si existe un exceso de arcilla, debido a la fuerte adsorción del ión borato.
- La humedad del suelo: las lluvias fuertes pueden lavar el boro del perfil del suelo, sobre todo en suelos ácidos y de textura gruesa. Asimismo períodos prolongados de sequía favorecen la fijación de este elemento pasando a formas no disponibles, en este aspecto tienen gran importancia la ralentización que sufren los procesos de descomposición de la materia orgánica debido al descenso de la actividad microbiana en suelos secos.
- Una fuerte temperatura e intensidad luminosa: elevadas temperaturas y una fuerte intensidad luminosa acentúan los síntomas de deficiencia de boro. Las exigencias en boro son inferiores en presencia de intensidades luminosas bajas.
- Las interacciones con otros elementos nutritivos: las fertilizaciones nitrogenadas en grandes cantidades atenúan los excesos de boro, ya que disminuyen la absorción de boro por las plantas. Del mismo modo, una elevada fertilización nitrogenada podría inducir una deficiencia en boro. Otros estudios muestran una sinergia entre las absorciones de boro y fósforo, potasio, calcio y magnesio, estando estos macroelementos en cantidades no excesivas. Por el contrario, potasio, magnesio, hierro y molibdeno a elevada concentración ejercen un antagonismo en la absorción de boro.

Un exceso de boro puede limitar la absorción de potasio y magnesio. Mención especial merece su estrecha interacción con calcio, dentro de unos rangos óptimos de ambos nutrientes, se comportan como sinérgicos, pero valores deficientes o en exceso de uno de ellos, afecta negativamente la dinámica nutricional del otro. Hay que destacar que elevadas concentraciones de calcio, pueden provocar la precipitación de borato cálcico y la coprecipitación de boro con carbonato cálcico.

De esta manera estamos ante potenciales carencias de boro si disponemos de pH elevado en el suelo, existe escasez de materia orgánica o el suelo está excesivamente seco o encharcado.

1.2. Síntomas de deficiencia.

Están siempre relacionados con las principales funciones del boro. Aparecen síntomas internos a nivel celular y vascular:

- Proliferación de células deformadas.
- Degeneración de tejidos meristemáticos y de membranas celulares.
- Acumulación de compuestos fenólicos en las vacuolas. Descenso de actividad de enzimas oxidantes.
- Incremento de la actividad ascorbato oxidasa en hojas.
- Acumulación de nitratos y menor contenido de proteínas en citoplasma.
- Aparición de zonas fibrosas.
- Desarrollo anómalo de vasos conductores.
- Disminución del contenido en azúcares en frutos y tubérculos.

El boro, al no desplazarse fácilmente desde las hojas basales, presenta síntomas externos inicialmente en las partes jóvenes de la planta:

- Reducción del crecimiento terminal, con muerte de la yema terminal, los brotes axilares se estimulan produciendo ramas axilares o mueren igualmente, los entrenudos se acortan. Como resultado se obtiene una característica forma abotonada o de roseta terminal y un aspecto arbustivo o encogido de la planta.
- Las hojas jóvenes se ven deformadas, más o menos rizadas, gruesas, quebradizas, pequeñas y curvadas hacia adentro, con nervios asimétricos, y a veces toman unos tonos oscuros, azul-verdosos o marrones y mueren.
- Los pecíolos y los tallos son más gruesos y se hacen fibrosos y frágiles. La planta presenta una apariencia encogida.
- Desarrollo de zonas necróticas y acuosas en tejidos de almacenamiento.
- Aparición de grietas y hendiduras en los pecíolos, en los tallos y algunas veces en los frutos y tubérculos.
- Alteración en la formación de flores y frutos. Aparición de frutos deformados, en cítricos crece la relación corteza / pulpa de forma exagerada.
- Aparición de superficies escamosas y zonas acorchadas, con aparición de cavidades en frutos y tubérculos, síntomas similares a la deficiencia cálcica.
- Alteración en la germinación del polen y formación desuniforme de frutos. A veces aparecen frutos partenocárpico, pequeños y de escasa calidad comercial, esto ocurre, por ejemplo, en vid. Las semillas presentan una más baja viabilidad.
- Las raíces se espesan, a veces se hacen más finas y débiles, y presentan las puntas necrosadas, deteniéndose el crecimiento.

Los cultivos presentan sensibilidades diferentes a la deficiencia de boro, incluso cultivares diferentes de una misma especie. Entre los cultivos más exigentes en boro citar las plantas con aprovechamiento de sus raíces (remolacha, nabo, zanahoria), apio, coliflor, brócoli, col, algodón, cacahuete, clavel, crisantemo, rosal, girasol, vid, manzano, peral, aguacate, café, olivo, eucalipto. La mayor parte de las monocotiledóneas muestran unos requerimientos de boro inferiores, a excepción de maíz y sorgo.

Como enfermedades características de deficiencia de boro destacar el mal de corazón de la remolacha (heart rot) o la médula acuosa de los nabos (water core), o el pedúnculo agujereado de la coliflor (hollow stem).

1.3. Diagnóstico de la nutrición de boro en las plantas.

La deficiencia de boro ocurre en un rango de cultivos y condiciones climáticas, mucho más extenso que cualquier otro nutriente y, probablemente incide más que cualquier otro micronutriente en la calidad y rendimiento de las cosechas.

En numerosas especies los síntomas de deficiencia son inferiores a 15-20 ppm de boro en hoja, los contenidos normales y no excesivos se sitúan en 20-100 ppm y los síntomas de toxicidad aparecen generalmente a partir de 200 ppm, aunque puede manifestarse con cantidades inferiores en especies menos tolerantes al exceso de boro. La tabla 1 muestra estos niveles foliares para diferentes especies de cultivo.

En general puede esperarse una deficiencia de boro con niveles inferiores a 30 ppm en hoja o cuando la relación entre el contenido en hojas jóvenes y el contenido en hojas viejas es bastante inferior a la unidad. Lo que sí resulta evidente es que en caso de deficiencia las partes apicales presentan contenidos inferiores que las partes basales de la planta.

Los contenidos de boro son mayores en hojas que en tallos. El boro tiende a acumularse en los márgenes de las hojas, con contenidos cuatro veces superiores que en las hojas enteras.

El boro total de los suelos, determinado por extracción de HCl en caliente con fusión alcalina, varía de 2 a 200 ppm, pero su utilidad a efectos de diagnóstico es baja. La extracción con agua hirviendo es la admitida como método de determinación del boro asimilable de suelos, después de haber utilizado un gran número de reactivos extractantes. Fue puesta a punto inicialmente por Berger y Truog en 1939, extracción con agua hirviendo en relación suelo/agua de 1:2, siendo la duración de la extracción de 5

minutos por reflujo y filtración posterior. Este método da las mejores correlaciones entre el boro extraído y el absorbido por las plantas.

El boro soluble en agua hirviendo varía en general de 0.1 a 3 ppm. El umbral de los síntomas de deficiencia está sobre 0.7-1 ppm, aunque este valor depende mucho de la textura y pH del suelo y de la sensibilidad del cultivo en cuestión.

1.4. Síntomas de deficiencia en cultivos de interés.

1.4.1. Tomate.

La deficiencia de boro en tomate provoca hojas jóvenes más finas y frágiles, muestran un característico tono crema pálido, márgenes con una tonalidad púrpura, desarrollan lesiones necróticas con o sin presencia de clorosis, se encorvan hacia adentro, posteriormente se tornan marrones, el color de los extremos palidece y mueren. Con una deficiencia más grave estas hojas jóvenes se deforman, son quebradizas y parcialmente cloróticas y presentan zonas insuficientemente desarrolladas, muriendo los ápices de crecimiento. Los pecíolos primarios y secundarios tienden a colapsar. Las hojas maduras amarillean mostrando una tonalidad anaranjada en los márgenes.

Los pedúnculos de los ramilletes son cortos y gruesos y generalmente sin producción, o si la tienen con frutos agrietados, con superficies acorchadas y con una maduración desigual. Los frutos sufren pardeamientos internos. Debido a la degeneración de los tejidos conductores, los tallos también se muestran engrosados, débiles, quebradizos y con lesiones suberosas.

Tratamiento: aplicaciones al suelo de 1-1.5 Kg/Ha de Boro o aplicaciones foliares al 0.05% en Boro.

1.4.2. Pepino.

En estados de deficiencia las plantas muestran entrenudos cortos, las hojas jóvenes quedan deformadas, arrugadas y encorvadas, terminando por morir al mismo tiempo que los puntos de crecimiento se tornan necróticos. Algunas de las hojas maduras toman forma de copa, se muestran quebradizas y muestran manchas cloróticas. Las líneas amarillas de la piel del fruto se muestran acorchadas, viéndose la calidad de la cosecha severamente afectada.

Tratamiento: aplicaciones al suelo de 1-2 Kg/Ha de Boro o aplicaciones foliares al 0.05% en Boro.

1.4.3. Pimiento.

La deficiencia de boro conlleva una clorosis general de hojas jóvenes con brillo característico del follaje. Las hojas nuevas se distorsionan con muerte de los puntos de crecimiento y botones florales. Amarilleamiento de los extremos de las hojas maduras que gradualmente se extiende por los márgenes, y los nervios principales se tornan color marrón, síntoma que es claramente visible al poner la hoja a contraluz.

Tratamiento: aplicaciones al suelo de 1-2 Kg/Ha de Boro o aplicaciones foliares al 0.05% en Boro.

1.4.4. Melón.

En plantas de melón deficientes en boro la yema terminal no puede expandirse. La calidad del fruto se ve severamente afectada. Los frutos carentes en boro muestran un menor dulzor.

Tratamiento: aplicaciones al suelo de 1-1.5 Kg/Ha de Boro o aplicaciones foliares al 0.05% en Boro.

1.4.5. Cítricos.

Presenta síntomas foliares con clorosis en la base de la hoja que deben ser confirmados por no ser muy característicos. Los primeros síntomas suelen ser manchas traslúcidas en hojas jóvenes, los nervios engrosan, se agrietan y toman apariencia acorchada. Las hojas jóvenes tienden a enrollarse, pierden su brillo característico y se secan los ápices. En pecíolos y algunas ramificaciones pueden aparecer exudaciones gomosas.

Los frutos permanecen de pequeño tamaño, duros y muestran típicas formaciones gomosas en el exterior y en el interior cerca del eje central, con manchas pardas en la pulpa. La piel es extremadamente gruesa y el contenido en zumo es escaso. Existe una caída general de frutos jóvenes, por lo que el rendimiento se ve seriamente afectado. Las semillas se muestran escasamente desarrolladas y la cáscara de la semilla suele ser de color oscuro y estar seca.

Tratamiento: aplicaciones al suelo 15-30 g/árbol de Boro, o aplicaciones foliares al 0.05% en Boro fuera del período de floración.

1.4.6. Manzano.

Los síntomas de deficiencia de boro se pueden ver en ramas, flores y frutos, aunque no existe ningún tipo de clorosis foliar. La corteza de las ramas desarrolla una necrosis interna y termina por secarse. La fructificación de las ramas afectadas es escasa y con frutos deformados. De la base del tejido muerto se suelen desarrollar yemas laterales que generan brotes de entrenudos muy cortos, la superficie de la corteza es irregular y se suele agrietar y desprenderse parcialmente.

En condiciones de deficiencia de boro la floración y la fructificación se reducen de forma considerable, existiendo caída prematura de frutos jóvenes. El fruto muestra puntos y manchas acorchados externos e internos, también piel rugosa y agrietada. Sufren pardeamiento una vez cortados de forma mucho más rápida que los frutos normales. Los síntomas pueden confundirse con una deficiencia de calcio ("bitter pit"), aunque en este último caso las manchas acorchadas tienen un característico sabor amargo, ahora bien, una deficiencia de boro puede ser causa indirecta del "bitter pit", al ocasionar una mala asimilación del calcio.

Tratamiento: aplicaciones al suelo de 15-50 g/árbol de Boro, o aplicaciones foliares al 0.05% en Boro desde que las yemas están hinchadas a caída de pétalos y al inicio del desarrollo del fruto.

1.4.7. Aguacate.

Existe una muerte gradual de los puntos de crecimiento apicales y también de los axilares. Hay malformaciones en las hojas que toman una forma lanceolada, se arrugan y presentan manchas necróticas. Los nervios central y principales se parten por el envés de la hoja y se suberifican. Las ramitas jóvenes se pueden hinchar y mostrar bolsas internas de corcho. El cuajado del fruto se ve severamente afectado.

Tratamiento: aplicaciones al suelo de 10-30 g/árbol de Boro, o aplicaciones foliares al 0.05% en Boro.

1.4.8. Vid.

En viña los síntomas típicos de deficiencia de boro son una clorosis intervenal en forma de mosaico desarrollada a partir del margen de la hoja, con posterior secado y caída de ésta. Las clorosis suelen tomar una coloración pardo rojiza, llegando los nervios a adquirir la misma tonalidad, abarquillándose la hoja. Las puntas de los zarcillos mueren. Los entrenudos son cortos, con internodos engrosados y a veces con lesiones necróticas, muerte de yemas apicales y desarrollo de brotes axilares.

Los racimos presentan un reducido número de bayas debido a la pérdida de flores, con formación de elevado número de granos muy desiguales. Los granos son pequeños, sin semillas a causa de una defectuosa polinización. El cuajado es muy deficiente y a menudo los granos muestran lesiones interiores acorchadas.

Tratamiento: aplicaciones al suelo de 3-10 Kg/Ha de Boro o aplicaciones foliares al 0.05% en Boro antes o después de la floración.

1.4.9. Clavel.

El primer síntoma de deficiencia de boro en clavel suele ser la aparición de gran número de cálices partidos y de botones florales abortados. A veces, el aborto no ocurre pero presentan muy pocos pétalos que terminan secándose con el estilo muy pronunciado.

Las hojas se encorvan y pueden llegar a romperse por el punto de inserción al nudo. Se desarrollan manchas rojas a lo largo de los nervios centrales en el envés de las hojas jóvenes, que posteriormente se extienden al haz y necrosan. Estas hojas generalmente muestran forma de cuchara con las puntas dentadas. Las hojas maduras pueden desarrollar manchas de tonalidad violeta. A menudo los brotes laterales superiores se muestran finos y muy ramificados. Los entrenudos son cortos y los tallos acortados resultan finos y débiles. En resumen, la deficiencia de boro en clavel afecta gravemente la producción de botones florales y la calidad de los que prosperan.

Tratamiento: aplicaciones al suelo de 1-2 Kg/Ha de Boro o aplicaciones foliares al 0.03% en Boro.

1.4.10. Rosa.

La deficiencia de boro en rosal se manifiesta con hojas deformes, pequeñas, alargadas y con los márgenes aserrados de forma irregular. Existe una característica pérdida de la dominancia apical que conlleva a una múltiple ramificación de los pedúnculos que están deformados.

Los pétalos pueden mostrar los bordes aserrados y pigmentación irregular. Las flores aparecen con un aspecto desgredado y con los colores más pálidos, así las rosas rojas a menudo aparecen con una tonalidad rosa. Bajo una deficiencia grave aparecen zona necróticas en los puntos de crecimiento y en los botones florales.

Tratamiento: aplicaciones al suelo de 1-2 Kg/Ha de Boro o aplicaciones foliares al 0.03% en Boro.

1.5. Corrección de la deficiencia de boro.

Períodos estivales excesivamente secos, a continuación de inviernos o primaveras lluviosos, son propensos para la manifestación de los síntomas de deficiencia de boro.

Existen numerosos abonos boratados utilizados para el suministro de boro a los cultivos: bórax ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$), tetraborato sódico ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ o $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$), pentaborato sódico ($\text{Na}_2\text{B}_{10}\text{O}_{16} \cdot 10\text{H}_2\text{O}$), solubor ($\text{Na}_2\text{B}_8\text{O}_{13} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$), ácido bórico (H_3BO_3), colemanita ($\text{Ca}_2\text{B}_7\text{O}_{11} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$), etc. Los boratos de sodio son la fuente clásica de aporte de boro, pero son utilizados en aplicaciones al suelo, el ácido bórico y el solubor también pueden ser utilizados en aplicaciones foliares al 0.05-0.1% en boro, a

causa de su mayor solubilidad y compatibilidad con la mayor parte de los productos pulverizados, sobre todo para aumentar la floración y el cuajado de frutos.

La fertilización boratada, frecuentemente se practica mediante incorporación de este elemento a los abonos principales.

La dosis aplicada a los suelos varía entre 0.3 y 3 Kg de boro por Ha, dependiendo de la sensibilidad y edad del cultivo, el tipo de suelo, la climatología, grado de deficiencia, localización de la aplicación, etc. Pero hay que ser cautos, ya que con facilidad se puede pasar de situaciones de deficiencia a situaciones de toxicidad. De ahí que sea de extrema importancia que la aplicación sea uniforme. Tampoco deben aplicarse fertilizantes boratados en contacto directo con las semillas, debido al riesgo de toxicidad.

El mejor momento de aplicación dependerá de diversos factores, tales como el régimen local de lluvias, la capacidad de retención del boro en el suelo, estado fenológico, grado de deficiencia del cultivo, etc.

1.6. Exceso de boro.

El boro puede llegar a ser tóxico para numerosas plantas con contenidos poco superiores a aquellos juzgados como correctos. Algunas especies muestran síntomas de toxicidad en cuanto los niveles superan las 200 ppm, incluso con contenidos claramente inferiores para el caso de dicotiledóneas. La relación de los contenidos tóxicos con los normales es claramente menor para el boro que para los demás elementos nutritivos.

Por encima de 5 ppm de boro extraído con agua hirviendo en suelo, pueden presentarse síntomas de toxicidad por boro. La toxicidad por boro también puede inducirse por contaminación industrial. Los síntomas de toxicidad consisten en una necrosis progresiva de las hojas que empieza por un amarilleamiento de las extremidades y de los bordes de las hojas, que progresa con quemaduras entre los nervios laterales hacia la nervadura central y evoluciona con un oscurecimiento y posterior necrosis, cayendo las hojas prematuramente. En general, las monocotiledóneas muestran necrosis en los ápices de las hojas, mientras que en las dicotiledóneas la necrosis es tanto apical como marginal.

Los cultivos se clasifican en tres categorías por orden de tolerancia creciente al exceso de boro:

- Cultivos más sensibles: agrios, melocotonero, fresa, viña, higuera.
- Cultivos semitolerantes: cebada, alfalfa, zanahoria, maíz, patata, lechuga, tabaco, tomate.
- Cultivos tolerantes: nabo, remolacha, algodón, alcachofa, espárragos.

Bien es cierto que, en general, los rendimientos de los cultivos sólo se ven severamente afectados cuando los síntomas de toxicidad son extremadamente graves, quizá el hecho de que el boro se concentre en ápices y márgenes de hojas, actúe a modo de mecanismo de autodefensa, teniendo una baja incidencia sobre el crecimiento.

Los suelos en los que puede presentarse el exceso de boro son aquéllos derivados de los sedimentos marinos, los suelos de regiones áridas y semiáridas o los suelos derivados de una roca madre rica en boro. Si además se riega con aguas demasiado ricas en boro, o se aplican grandes cantidades de compost urbano, estaremos promoviendo síntomas de toxicidad. Por encima de 0.5 ppm de boro en el agua de riego ya pueden existir problemas para los cultivos sensibles a su exceso, si bien es cierto que plantas tolerantes pueden soportar contenidos sensiblemente superiores. La tabla 2 muestra los niveles de tolerancia al contenido en boro del agua de riego para diferentes especies de cultivo, ahora bien, estos valores habría que replantearlos en función de la pluviometría de la zona y del manejo del drenaje efectuado en el cultivo.

Otra particularidad interesante de resaltar es que por lavado, la planta puede perder hasta el 80% del boro de sus hojas en algunas especies. De esta forma, la planta se autodefende contra una toxicidad.

1.7. Síntomas de toxicidad en cultivos de interés.

1.7.1. Tomate.

La toxicidad por boro en tomates se manifiesta como un amarilleamiento y posteriores lesiones necróticas en los extremos de las hojas maduras, las cuales se curvan hacia adentro. Finalmente toda la hoja se curva y muere. La parte superior de la planta generalmente permanece verde mientras que la mitad inferior está totalmente de color marrón dorado. Los extremos de las hojuelas del cáliz del fruto se tornan de color grisáceo, se curvan y se secan.

1.7.2. Pepino.

Desarrollo de un característico tono amarillo oro en los márgenes de las hojas maduras, posteriormente los síntomas se pueden extender a hojas jóvenes. Si la toxicidad continúa, los márgenes afectados se amplían, desarrollan manchas necróticas, se marchitan y el tejido muere, permaneciendo un borde amarillo oro entre el tejido verde y la parte muerta. Las hojas se arquean debido a que el tejido interior continúa desarrollándose. Las hojas jóvenes a menudo son más pequeñas de lo normal y aparecen pocas flores femeninas. Los síntomas podrían confundirse con una toxicidad por amonio.

1.7.3. Pimiento.

Las hojas muestran un reducido tamaño, con zonas acorchadas en los márgenes, pudiendo llegar a afectar el rendimiento de los frutos, si bien con concentraciones de boro muy elevadas.

1.7.4. Cítricos.

Aparecen lesiones cloróticas en las hojas que se extienden desde el ápice hasta las zonas marginales. Estos síntomas son seguidos de manchas necróticas en ápice y márgenes.

1.7.5. Frutales.

A menudo existe un amarilleamiento y un chamuscado de los extremos de las hojas. Se acelera la maduración pero desciende la calidad postcosecha.

1.7.6. Vid.

Zonas amarillas, y a veces rojizas, se extienden desde los márgenes de las hojas. Aparecen numerosos puntos necróticos, y si la toxicidad es severa, toda la hoja se torna amarilla y muere. Se detiene el crecimiento de los bordes foliares, no alcanzando las hojas su tamaño normal y adquiriendo forma de paraguas. También queda inhibida la germinación del polen y aparecen granos partenocápicos.

1.7.7. Flores.

Aparecen características lesiones cloróticas y necróticas en los ápices y a lo largo de los márgenes de las hojas viejas.

2. BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA.

BERGMANN, W. 1992. Nutritional Disorders of Plants. Gustav Fischer. Verlag Jena.

JONES Jr, J. B. 1998. Plant Nutrition Manual. CRC Press LLC. Boca Ratón. Florida.

MARSCHNER, H. 1986. Mineral Nutrition in Higher Plants. Academic Press, Inc., New York.

MENGEL, K. & KIRKBY, E. A. 1987. Principles of Plant Nutrition. 4th Edition. International Potash Institute, Berna. Suiza.

REUTER, D. J. & ROBINSON, J. B. 1997. Plant Analysis: an Interpretation Manual. 2ª Ed. CSIRO Publishing. Australia.

Tabla 1. Interpretación de los niveles foliares de boro para diferentes cultivos.

CULTIVO	NIVELES FOLIARES (ppm)		
	DEFICIENCIA	NORMALIDAD	TOXICIDAD
Abedul	<15	30-60	
Abeto	<12	15-30	
Acacia	<10	15-35	
Aguacate	<15	40-100	>250
Albaricoque	<20	20-60	>90
Alcachofa	<30	40-150	
Alfalfa	<20	30-80	>200
Algodón	<15	25-80	>200
Almendra	<25	30-65	>85
Altramuz	<10	20-60	>800
Anacardo	<40	60-80	
Apio	<20	30-60	>400
Araucaria		15-30	
Arroz	<5	10-25	>100
Avellano	<25	30-75	>100
Avena	<5	5-20	>40
Azalea	<20	20-100	>200

Banana	<10	20-80	>300
Boniato	<15	30-150	
Brócoli	<20	30-100	
Cacahuete	<20	25-60	>230
Cacao	<10	25-70	
Cafeto	<25	40-100	>200
Caña de azúcar	<2	4-20	>400
Caqui		50-80	
Casuarina		30-60	
Cebada	<5	5-20	>40
Cebolla	<20	25-70	
Cedro		25-45	
Centeno	<8	10-15	
Cerezo	<15	20-60	>150
Ciruelo	<20	25-60	>80
Cítricos	<20	30-100	>250
Clavel	<20	30-100	>700
Coco	<12	20-40	
Col	<20	30-60	
Coles de Bruselas	<15	25-90	
Coliflor	<15	20-80	>100
Colza	<20	30-60	
Crisantemo	<20	30-100	>250
Cyclamen		25-60	
Espárrago	<20	40-100	>200
Espinaca		40-80	
Eucalipto	<30	40-120	
Frambueso	<15	20-70	>200
Fresa	<25	25-50	>125
Fresia		30-100	
Garbanzo	<20	25-50	>200
Geranio	<20	30-180	>400
Girasol	<30	40-150	>500
Gladiolo		25-60	>300
Grosellero	<10	20-40	
Guisante	<15	20-100	>200
Haba	<20	35-80	>300
Haya		30-70	
Helecho		25-60	
Hibiscus	<30	40-80	

Higuera	<15	50-140	>300
Hydrangea	<20	20-50	
Impatiens		50-60	
Ixodia		50-60	
Jengibre	<20	60-140	>275
Judía	<20	20-55	>150
Kenaf		15-25	
Kiwi	<20	30-60	>100
Lechuga	<20	25-60	
Leucadendron		12-20	
Lino	<15	25-60	>290
Litchi		25-60	
Lúpulo	<20	25-60	
Maíz	<5	5-35	>80
Maíz dulce	<7	10-60	>100
Mandioca	<15	30-60	>140
Mango		30-100	
Manzano	<20	25-60	>70
Melocotón	<15	20-60	>100
Melón		30-80	>900
Mostaza	<20		>80
Nabo	<15	40-80	
Nogal	<20	35-200	>300
Olivo	<15	20-150	>250
Olivo	<14	20-150	>185
Orquídea		20-100	>400
Palma	<12	15-25	
Papaya	<20	20-60	
Pastos en general	<10	15-50	>60
Patata	<20	30-65	>180
Pepino	<20	30-100	>300
Peral	<15	25-50	>80
Petunia		20-50	>400
Pimiento	<20	30-100	
Pino	<10	15-60	>170
Pistacho	<80	120-150	
Poinsettia	<20	30-100	>200
Protea		15-25	
Rábano	<20	25-150	
Remolacha	<25	30-100	>250

Roble	<10	20-50	
Rosa	<30	30-60	>400
Rye-grass	<3	3-5	>50
Sandía	<25	30-80	
Schefflera	<20	25-60	
Sésamo	<35	50-125	
Soja	<10	20-80	>100
Sorgo	<7	15-100	>150
Tabaco	<15	25-100	>250
Té	<12	15-80	
Tomate	<15	30-100	>200
Trigo	<5	5-20	>40
Vid	<25	30-70	>150
Zanahoria	<20	30-80	>250
Zinnia	<15	25-70	

Tabla 2. Tolerancia relativa de diferentes cultivos al contenido en boro (mg/l) en las aguas de riego.

CULTIVOS HORTÍCOLAS	NIVEL CRÍTICO	CULTIVOS FRUTALES	NIVEL CRÍTICO	CULTIVOS EXTENSIVOS	NIVEL CRÍTICO
Zarzamora	0.5	Limonero	0.4	Cacahuete	1.3
Pimiento	1.3	Pomelo	0.5	Avena	1.5
Calabaza	1.4	Aguacate	0.6	Maíz	1.7
Guisante	1.9	Naranja	0.7	Trigo	1.8
Rábano	2.0	Albaricoquero	0.8	Cebada	1.8
Tomate	2.1	Melocotonero	0.8	Girasol	2.5
Patata	2.4	Cerezo	0.8	Tabaco	2.9
Pepino	2.4	Níspero	0.9	Trébol dulce	2.9
Zanahoria	2.5	Caqui	1.0	Sorgo	3.0
Lechuga	2.6	Higuera	1.0	Alfalfa	3.5
Coliflor	2.7	Vid	1.0	Veza	3.5
Col	2.7	Manzano	1.1	Remolacha	3.6
Apio	2.7	Peral	1.1	Algodón	3.8
Nabo	2.8	Nogal	1.1		
Alcachofa	2.8	Ciruelo	1.1		
Melón	2.9	Olivo	1.8		
Cebolla	3.0	Palmera	3.8		
Haba	3.2				
Espárrago	4.0				