

Naciones Unidas Sobre Medio Ambiente y Desarrollo. Conferencia 151/26 (Vol.2) Río de Janeiro(1992)]. Organizaciones de Naciones Unidas señalaron a fines de 1995 que la tendencia al adelgazamiento de la capa de ozono persiste no sólo en la Antártida, sino que también se manifiesta en latitudes medias de ambos hemisferios, en zonas densamente pobladas. Por lo tanto se hace necesario continuar las investigaciones en este campo y la adhesión de todos los estados a las regulaciones establecidas.

#### **Uso terapéutico del ozono:**

Por mecanismos no bien comprendidos, el O<sub>3</sub> manifiesta acciones bactericidas, fungicidas y virucidas, por lo que puede constituir el tratamiento de elección en algunas enfermedades y coadyuvante en otras.

Se han utilizado diferentes formas farmacéuticas y de administración como son: mezcla gaseosa u oleosa para uso externo, autohemoterapia, insuflación del gas, inyección intramuscular, agua ozonizada y balneoterapia con ozono.

Dentro de las afecciones tratadas se encuentran: heridas no cicatrizantes, quemaduras, úlceras de extremidades y de decúbito, infecciones virales, bacterianas y fúngicas, lesiones por radiación, asma, acné, hiperlipidemia, osteoporosis

menopáusicas, cirugía dental y enfermedad periodontal, gastritis, inflamación intestinal crónica, purificación sanguínea para transfusiones, etc. De gran importancia es el hecho de que las células cancerosas poseen menor capacidad de defensa antioxidante que las normales, lo que las hace más susceptibles a la acción oxidativa del O<sub>3</sub>. No obstante, la mayoría de los estudios carecen de adecuado control, por lo que se requieren esfuerzos de la comunidad científica internacional en este sentido.

#### **CONCLUSIONES**

El tema del ozono debe ser tratado de manera detallada por la sociedad humana actual. Como muchas otras sustancias puede ser beneficioso o perjudicial para la vida en la Tierra. El mantenimiento de la integridad de la capa de ozono estratosférica por una parte y la disminución de las concentraciones de ozono en las capas bajas de la atmósfera hasta alcanzar niveles beneficiosos, debe continuar siendo objetivo de numerosos esfuerzos con el fin de lograr la supervivencia de la vida en la Tierra a largo plazo. Por otra parte, el ozono posee propiedades terapéuticas que deben ser exploradas en estudios adecuadamente controlados, de manera que se pueda convertir en una útil herramienta para la prevención y tratamiento de numerosas enfermedades.

---

## **TOXICIDAD DE BORO EN LAS PLANTAS**

---

**Eugenio Muñoz Camacho, M<sup>a</sup> del Mar de La Fuente y M<sup>a</sup> Jesús Rodríguez Guerreiro**

---

Este tema se incluye como ejemplo dentro de las materias en el desarrollo de temas de la asignatura de Ingeniería Ambiental, para mostrar los efectos que pueden presentar distintos productos químicos sobre el medio. Dada la amplia experiencia del grupo de trabajo sobre la eliminación de boro por tratamiento de aguas contaminadas con este elemento, se dispone de gran cantidad de datos al respecto, que permiten definir con claridad y concreción los daños sobre el medio natural en el contexto de un aula.

Los micronutrientes esenciales que los organismos vegetales necesitan para su desarrollo son: Hierro, Manganeso, Cobre, Zinc, Boro, Molibdeno y Cloro.

El efecto favorable del boro sobre el crecimiento de las plantas fue observado por primera vez por Bertrand (1911) y Agulhon (1910), siendo muy conocidos los síntomas de deficiencia en un gran número de cultivos por lo que se ha convertido en

un micronutriente muy importante en la agricultura.

Sin embargo, el boro también puede causar síntomas de toxicidad en determinadas áreas provocando graves daños a las plantas debido, por ejemplo, al uso de agua de riego contaminada con una alta concentración de este elemento. Dicha contaminación puede ser provocada por: vertidos urbanos (ricos en detergentes y productos de limpieza); vertidos industriales y productos químicos utilizados en la agricultura. Las concentraciones de boro en agua de riego menores de 0,70 µg B/ml, suelen ser beneficiosas para la mayoría de las plantas y, sin embargo, los valores comprendidos entre 1,0 y 4,0 µg B/ml producen necrosis celular siendo inadecuadas para las plantas [Martínez J.L., de la Fuente M.M., Muñoz E. *El boro en los vertidos industriales*. Ingeniería Química **9**: 163-169 (1999)].

Los cultivos pueden clasificarse, atendiendo a

la concentración máxima permitida de boro en el agua de riego, en tres categorías por orden de tolerancia creciente:

a) Cultivos sensibles (0,30-1,00  $\mu\text{g B/ml}$ ): manzano, cerezo, limonero, naranjo, peral, melocotonero, pomelo, aguacate, olmo, albaricoquero, higuera, vid, ciruelo y judías.

b) Cultivos semitolerantes (1,00-2,05  $\mu\text{g B/ml}$ ): cebada, alfalfa, repollo, zanahoria, lechuga, cebolla, patata, calabaza, espinaca, tabaco, olivo, rosas, tomate y trigo.

c) Cultivos tolerantes (2,05-4,00  $\mu\text{g B/ml}$ ): espárrago, arándano, algodón, pepino, gladiolo, sésamo, tulipán, remolacha, haba, pasto, menta y centeno. [Se puede leer una revisión en: M<sup>a</sup> del Mar de la Fuente. "Diseño y desarrollo de un sistema de tratamiento para la eliminación de boro en vertidos industriales" (2000). Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid].

Las plantas tolerantes acumulan boro a una velocidad baja mientras que las plantas sensibles lo hacen muy rápidamente. Se establece que las diferencias de tolerancia al boro en plantas pueda ser causada por las distintas proporciones de acumulación de boro en hojas y no por las diferencias de sensibilidad en ellas. Así, las diferencias del tiempo necesario en las plantas para mostrar síntomas de toxicidad se basan únicamente en dicha acumulación.

Otras causas de los síntomas de toxicidad en las plantas pueden ser los suelos derivados de sedimentos marinos, suelos de las regiones áridas o semiáridas o de suelos derivados de una roca madre rica en boro encontrándose éste en solución como ácido bórico ( $\text{H}_3\text{BO}_3$ ) o como Bórax ( $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ).

La adsorción del boro juega un papel importante en la determinación de la cantidad de boro disponible para la absorción por las plantas. El boro asimilable (extraíble en agua caliente), que consiste sobre todo en ácido bórico  $\text{B(OH)}_3$ , es muy pequeño en relación al boro total (entre 0,1 y 3  $\mu\text{g B/ml}$ ). El boro total (entre 2 y 200  $\mu\text{g B/ml}$ ) que principalmente depende del tipo de suelo, se encuentra bajo las siguientes formas: en el interior de los minerales silicatados (no asimilable por las plantas); adsorbido sobre los minerales arcillosos (con un máximo de absorción hacia pH 8,5-9); adsorbido sobre hidróxidos de hierro y aluminio (con un máximo de absorción entre pH 8-9 para hidróxidos de hierro y hacia pH 7 para hidróxido de aluminio); y ligado a la materia orgánica (provocando un aumento del contenido en boro en las plantas). Generalmente al aumentar el pH del suelo, la adsorción del boro por parte de éste es mayor y, en consecuencia, la disponibilidad para las plantas menor.

La textura del suelo es también un factor importante a considerar. Los suelos con textura ligera contienen en general mayores cantidades de boro soluble que los suelos de textura gruesa debido a que en estos el boro es adsorbido por la arcilla, quedando restringida la lixiviación.

Las condiciones climáticas pueden tener relación con la tolerancia al boro, pero no en todos los cultivos los efectos son los mismos, sino que unos acumulan más boro en condiciones de altas temperaturas y climas secos y otros lo hacen a bajas temperaturas y humedades más altas.

Los componentes minerales del suelo también influyen en la disponibilidad de boro. En suelos alcalinos con presencia de iones Ca libres la disponibilidad de boro es mucho menor. Lo mismo ocurre para el magnesio.

El boro es absorbido por un flujo hídrico a través de las raíces de las plantas bajo la forma de ácido bórico no disociado, sigue el flujo de la transpiración, y es transportado únicamente en el xilema, ya que es en gran parte inmóvil en el floema. Se ha demostrado que puede haber un control genético en el transporte de dicho elemento [Domínguez, *Los microelementos en la agricultura*. Ed. Mundiprensa].

La distribución de boro en las plantas no es uniforme. Su acumulación es más alta en las hojas que en raíces, tallos y frutos, aunque existen excepciones como el melocotonero y el cerezo.

El contenido de boro en las plantas varía con las especies, la edad y los órganos analizados, de tal manera que los síntomas de toxicidad generalmente aparecerán por encima de 200  $\mu\text{g B/ml}$ . Estos síntomas coinciden en la mayoría de los cultivos con necrosis progresiva de las hojas que comienza por un amarilleamiento de los bordes de las hojas, progresa entre los nervios laterales hacia la nerviatura central y termina con un oscurecimiento y la posterior necrosis. Las monocotiledóneas muestran necrosis en las puntas, mientras que en las dicotiledóneas la necrosis es tanto marginal como apical. Existen excepciones, como la cebada, en donde la necrosis aparece primero en forma de manchas en la sección terminal de la hoja y finalmente las manchas necróticas se funden [Sardá y de Torres, *Boro micronutriente agrícola*. Ed Borax España, S.A.].

A pesar de que los síntomas de toxicidad son provocados por una aplicación excesiva de boro, el rendimiento comercial del cultivo no se ve afectado hasta que los síntomas visibles son muy graves. Sin embargo, en el caso de plantas ornamentales esto no ocurre ya que un buen rendimiento implica la ausencia total de hojas con síntomas necróticos.