

HOJA DE DIVULGACIÓN TÉCNICA Y GENERALIDADES SOBRE

EL BORO

De entre los seis elementos llamados micro elementos , es el único que no posee el carácter metálico ; además es el que posee el menor radio atómico de todos.

Procede de las rocas sedimentarias de origen marino y de las rocas de origen ígneo (volcánico)

Cuando estas rocas que contienen **BORO** se disgregan y sufren los ataques químicos del medio ambiente ; surgen las formas químicas de los **BORATOS** ($B(OH)_4^-$) y del **ÁCIDO BÓRICO** (BO_3H_3)

En el suelo , el **BORO** total puede oscilar entre 2 y 200 p.p.m. , pero generalmente tan solo el 5% de este total es asimilable para las plantas.

En el suelo , el **BORO** presente en la solución nutritiva o asimilable se presenta en dos formas :

La forma de ÁCIDO BÓRICO BO_3H_3
La forma de ION BORATO $B(OH)_4^-$

LA FORMA DE ÁCIDO BÓRICO :

[BO_3H_3]

- Es la forma más asimilable para la planta
- Es la forma menos disociada (**lo contrario de los otros micro elementos que la forma más asimilable es siempre la forma más disociada**)
- Es la forma más lavable y que se retiene menos.
- Es únicamente retenida por la Materia Orgánica

-Es la forma típica del **BORO** en los suelos ácidos.

LA FORMA DE ION BORATO:

[$B(OH)_4^-$]

-Esta forma es menos asimilable para la planta

-Es típica de los suelos con pH neutro y alcalino.

-Es también retenida por la Materia Orgánica , pero menos que la forma ácida.

-Esta forma es muy retenida por los suelos y según los distintos materiales que lo componen ; y por este orden

SEXQUIOXIDOS

ARCILLAS

$Al(OH)_3$ > $Fe(OH)_3$ >..... MICAS=VERMICULITA > CAOLINITA > MORTMORILONITA
pH=7 pH=9

EL -BORO- ASIMILABLE EN LOS SUELOS

El **BORO** asimilable en los suelos es el soluble , representado mayoritariamente por LA FORMA ÁCIDA BO_3H_3 y su contenido oscila entre 0.1 - 3 p.p.m.

Este **BORO** asimilable o soluble es mayor en los suelos ácidos que en los suelos con pH alcalino , ya que tal como hemos dicho en los suelos ácidos y neutros predomina la forma ácida del **BORO** , que es la más asimilable.

En cuanto a la textura , los suelos arcillosos y de estructura pesada retienen mucho mas el **BORO** asimilable ; mientras que en los suelos sueltos el **BORO** es lavado con mas facilidad.

Por este motivo las aportaciones de **BORO** deben ser mayores en los suelos arcillosos (mayor retención) y en los suelos alcalinos por transformarse a formas menos asimilables . En contra , las plantas toman mas fácilmente **BORO** en un suelo arenoso que en un suelo arcilloso , por estar menos retenidos.

La práctica del encalado de los suelos puede producir una carencia de **BORO** inducida , tanto por la variación del pH (si se produce) , como por el aumento de la retención de **BORO** sobre los hidróxidos de (Al) Aluminio y (Fe) Hierro , recién formados por efecto del encalado.

El **BORO** se distribuye en el suelo en diferentes niveles , según la composición del mismo , el régimen de lluvias y formas de riego.

En general el **BORO** asimilable esta en las capas superiores del suelo , por estar asociado en general a la Materia Orgánica.

Esto explica la carencia de **BORO** en épocas de sequía , si las capas inferiores del suelo (aún húmedas) no son ricas en **BORO**. Este es el caso de la - **amarillez**- de la alfalfa en verano .

El **BORO** total en suelos varia desde 2 a 100 o 200 p.p.m. siendo el contenido asimilable , tal como hemos dicho , del orden de la 0.1 - 3 ppm

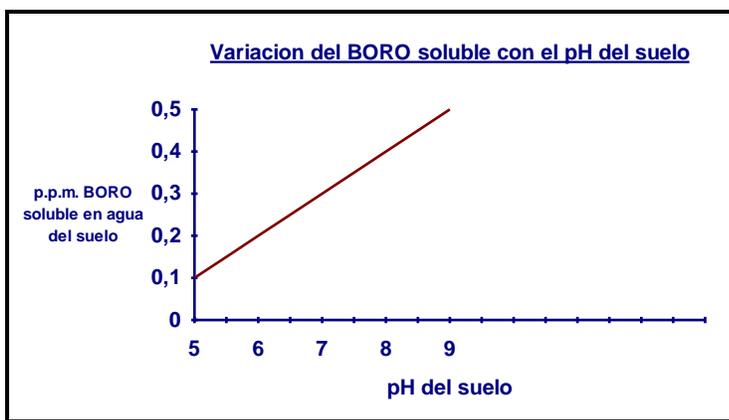
Los niveles críticos a los cuales un suelo puede presentar deficiencias en **BORO asimilable** dependerán de los siguientes parámetros:

1º- tipo de cultivo mas o menos sensible

2º- textura del suelo Arcilloso.....mínimo 0.8 ppm
Francomínimo 0.5 ppm
Arenosomínimo 0.3 ppm

3º- (pH) del suelo (pH) Ácidomínimo 0.4 ppm
(pH) Neutromínimo 0.5 ppm
(pH) Alcalinomínimo 0.75ppm
(pH) Alcalino-Calizomínimo 1 ppm

Por lo tanto habrá que tomar la textura , el (pH) , y el cultivo como parámetros para juzgar si el contenido en **BORO soluble** de un suelo puede ser carencial.



INTERACCIONES ENTRE EL **-BORO-** Y LOS NUTRIENTES DEL SUELO

- (N - B)**-la demanda de **BORO** por parte de la planta , se ve incrementada con niveles altos de **NITROGENO** en el suelo. Esta seria una forma de defenderse de una posible toxicidad por exceso de **BORO** en el suelo , mediante un abonado suplementario de **NITROGENO**. En general existe una mayor demanda de **BORO** en periodos de crecimiento o consumo de **NITROGENO**.

- (P₂O₅ - B)**- se detecta un ligero aumento en el consumo de **BORO** con niveles altos de **FOSFORO** (**P₂O₅**) en el suelo. En situaciones de carencia de **BORO** , cuando esta se corrige , una de las manifestaciones de dicha corrección , es la de detectarse un aumento en la simulación de **FOSFORO** en la planta.

- (K₂O - B)** -esta relación entre el **BORO** y el **POTASIO** (**K₂O**) no esta clara ; sin embargo parece que se mejorara la asimilación de **POTASIO** con niveles normales de **BORO** a causa de la relación que ambos elementos tienen en la formación y manejo de los azúcares.

- (Ca - B)**- altos índices de **CAL** asimilable (activa) en el suelo , agravan los sintamos de carencia de **BORO** ; es lo que llamaríamos **carencia inducida de BORO** . Los casos de toxicidad por exceso de **BORO** pueden corregirse , en muchos casos, simplemente aportando **CALCIO soluble** a la solución del suelo. Parece existir un equilibrio entre el **CALCIO** y el **BORO** del suelo , representado por la relación **Ca/B** , en el desarrollo vegetal normal

ALGUNOS VALORES DE ESTA RELACIÓN (Ca/B)

Tabaco 1200
Soja..... 500
Remolacha azucarera. 100

- (Cu - B)**- la carencia de **BORO** se acentúa en los casos de carencia combinada con **COBRE** (**Cu**).

SUELOS CON RIESGO DE CARENCIA DE **-BORO-**

- SUELOS pobres en **BORO** , como son los de origen volcánico y los ácidos
- SUELOS ácidos con pluviometria alta.
- SUELOS alcalinos con pluviometria baja y mucha iluminación.

- SUELOS regadas con aguas alcalinas
- SUELOS con encalado intensivo.

ABSORCIÓN Y TRANSPORTE DEL -BORO- EN EL INTERIOR DE LAS PLANTAS

El **BORO** es absorbido por la planta en forma de **ÁCIDO BÓRICO** BO_3H_3 no disociado.

Cuando la concentración de **BORO** en la solución nutritiva del suelo es baja , la absorción se realiza mediante un proceso metabólico o con consumo de energía , por parte de la planta.

Cuando la concentración en el suelo es alta , el **BORO** se absorbe por difusión en el espacio interno de la raíz.

A nivel foliar la absorción se hace por difusión del BORO en el interior de la hoja , cruzando las membranas celulares. Sin embargo esta difusión es difícil y lenta , habiéndose demostrado la existencia de un mecanismo químico de absorción. Esta absorción es difícil dada la poca disociación química del ÁCIDO BÓRICO y la necesidad que existe de formarse complejos con azúcares para permitir la penetración dentro de la hoja.

También se ha demostrado que existe una alta predisposición genética a una mejor o peor facilidad para la absorción de **BORO**.

Lo que si parece estar claro es la forma en que se encuentra el **BORO** una vez que ha penetrado dentro de la planta ; sea cual sea el órgano utilizado para entrar. El **BORO** siempre lo encontramos formando un complejo **BORO-AZUCARES** . Este mismo complejo es el que utiliza para moverse y trasladarse dentro de la planta.

El transporte del **BORO** por el interior de la planta se realiza tan solo a través del XILEMA mayoritariamente en forma de complejo BORO-AZUCAR y en menor cantidad como **ÁCIDO BÓRICO** (BO_3H_3).

El movimiento se realiza tan solo siguiendo el flujo ascendente de la savia , que es fruto de la transpiración. Por este motivo los puntos de acumulación de **BORO** serán las hojas mas viejas y mas bajas y los puntos mas deficitarios serán los meristemos de crecimiento , las hojas jóvenes y sobre todo los frutos.

El transporte a través del floema es prácticamente nulo y tan solo se produce en las fases finales del ciclo , cuando se producen los mecanismos de cerrado de los tubos del floema.

(formación de callosa en las placas cribosas).

FUNCIONES DEL -BORO- EN LA FISIOLÓGÍA VEGETAL

Las funciones concretas del **BORO** dentro del vegetal , no están del todo esclarecidas sin embargo se han estudiado los procesos provocados por la falta del mismo ; y se ha llegado a conclusiones muy clasificadoras.

El BORO favorece el crecimiento de los meristemos (extremos de los brotes , raíces y división celular en general).

El **BORO** interviene en la síntesis de bases nitrogenadas como el URACILO ,el cual es esencial para la formación del (A.R.N.) y los **RIBOSOMAS** .

Estas sustancias son indispensables en la elaboración de los **AMINOÁCIDOS y PROTEÍNAS** , sin las cuales no es posible el crecimiento y multiplicación celular de los meristemos.

El BORO interviene en la utilización y transporte de los azúcares y de los asimilados a través de raíces y hojas.

El **BORO** interviene en la síntesis de las enzima responsables de transformar sucesivamente la glucosa en SACAROSA , ALMIDÓN , PECTINA , CELULOSA y CALLOSA.

El **-BORO-** junto con las enzimas fosfatasa y fosforilasa , son responsables de la reducción de la Glucosa a Pentosa y en su ausencia provocan la formación de FENOLES , que se acumulan en la planta provocando necrosis (remolacha , apio , lechuga , etc.

El **-BORO-** interviene en las enzimas responsables de liberar la energía contenida en el A.T.P. Esta energía se utiliza para el transporte de las sales absorbidas (abonos) , azúcares elaborados y Aminoácidos sintetizados por la planta a través de las membranas celulares.

Esto es lo que llamamos transporte activo de sustancias vegetales .

El **BORO** las favorece ya que esta muy relacionado con la formación y renovación de las sustancias pecticas de las membranas celulares.

Como el **BORO** se encuentra normalmente asociado a los azúcares que constituyen la membrana celular , formando complejos ; y es allí donde se producen los fenómenos de transporte de sustancias de célula a célula que antes indicábamos .

Podemos decir que el **BORO** interviene de forma muy activa en los fenómenos responsables de regular la permeabilidad de las membranas celulares.

El BORO favorece la asimilación de FÓSFORO en situaciones críticas para la planta.

Sabemos que el FÓSFORO es utilizado básicamente en la formación de los nucleótidos A.D.N. y A.R.N.

La síntesis de estas sustancias esta muy favorecida por la presencia de **BORO** .

En general estas sustancias son la base de todas las enzimas que regulan y controlan todos los procesos bioquímicos del vegetal.

Por lo tanto en los momentos críticos y de "estres" bioquímico la planta necesitará cantidades suplementarias de estos nucleótidos (ADN) y (ARN).

Como el **BORO** acelerará su formación , el empleo de **BORO** en estos momentos acelerará de forma ostensible la asimilación de FÓSFORO , que es indispensable en su construcción química.

El BORO interviene en el metabolismo de alguna FITOHORMONA

Se ha comprobado que la deficiencia de **BORO** provoca la acumulación de ACIDO-INDOLACETICO (**AIA**) en los tejidos de las plantas , lo cual producirá un parón en el crecimiento. Este parón , junto con la acumulación de Fenoles ; son responsables de las necrosis foliares . Ejemplo: la necrosis de los bordes de las hojas de lechuga.

Otras funciones del BORO en la fisiología vegetal , no han sido todavía bien estudiadas , pero se conoce su incidencia.

-mejora de la fertilidad del POLEN

-aumento de la resistencia al frío.

-aumento de la resistencia al "cornezuelo" del centeno , que es una enfermedad que consume grandes cantidades de BORO.

SÍNTOMAS DE DEFICIENCIA DE -BORO-

SÍNTOMAS INTERNOS - Son generales en todas las plantas . Aparecen a nivel vascular y celular

- Proliferación de células mas o menos deformadas
- Degeneración de los tejidos meristemáticos (**envejecimiento prematuro**)
- Degeneración de las membranas celulares - **Se acumulan compuestos fenolicos en las vacuolas**
- Aparición de zonas fibrosas
- Mal formación de los vasos

SÍNTOMAS EXTERNOS - Son mas propios y distintos en cada planta , pero en general podemos resumir así:

- **Al desplazarse con dificultad el BORO fuera de las hojas viejas , las carencias se manifiestan siempre en las hojas y tejidos mas jóvenes.**
- Se para el crecimiento de las puntas (Meristemas)
 - * los entre nudos se hacen cortos
 - ** muere la yema terminal
 - *** las yemas axilares se estimulan , crecen algo y mueren
 - **** el aspecto general de las puntas es de una "ROSETA"
- Las hojas son anómalas
 - * las hojas viejas son normales
 - ** las hojas jóvenes mas o menos rizadas , frágiles de un verde azulado.
 - *** algunas hojas con clorosis entre los nervios (VIÑA)
- Los frutos presentan problemas de anclaje a la planta
 - * los peciolo y tallos del fruto son frágiles y fibrosos
 - ** poca fertilidad del polen de las flores
- Las raíces se hacen espesas y deformes
 - * puntas necrosadas
 - **algunas como la remolacha se descomponen (acumulación de fenoles)
- **Se forman tanto en la piel del tronco como en el fruto placas fibrosa y abultamientos duros**

.Esto se parece mucho a las deficiencias de CALCIO (Tomate, Col ,Coliflor ,Patata) (se confunde con la mancha morada del níspero) (acorchado y piel de sapo en el manzano).

CULTIVOS SENSIBLES A LA DEFICIENCIA DE BORO

MUY SENSIBLES	SENSIBLES	POCO SENSIBLES
Cacahuete Alfalfa	Plátano Melocotonero	Agrios Judías
Remol.azu. Nabo	Cacao Rábano	Piña Cebada
Remol.for. Clavel	Col Tabaco	Espárrago Guisante
Remol.roj. Palmera	Col Bru. Te	Avena Patata
Brócoli Olivo	Cocotero Tomate	Trigo Arroz
Café Manzano	Espinaca Trébol	Caña azúcar Centeno
Zanahoria Rosal	Lechuga	Pepino Soja
Apio Colinabo	Lino	Fresal Sorgo
Coliflor Girasol	Maíz	Gramineas forraj.
Colza Vid	Peral	
Algodón		

En general los cultivos mas sensibles son los que denominamos "raíces" , tales como remolachas y nabos ; también lo son entre las hortalizas, el apio , las coliflores y la alfalfa y los tréboles entre las forrajeras.

Entre los frutales los mas sensibles son el manzano y el peral.

En general las monocotiledoneas son menos sensibles que las dicotiledoneas a la carencia de **BORO**. La causa es una menor necesidad radicular de **BORO** y poca actividad de la enzima que fabrica "fenoles" en ausencia del **BORO**.

CONTENIDO EN ppm BORO s.m.s DE ALGUNAS PLANTAS

Plantas	Órganos Analizados	Deficiencia	Normal	Toxicidad
Cereales	Pajas	<5	5-20	>30
Alfalfa	Tercio sup.planta antes floración	<20	30-80	>100
Trébol	Partes aéreas estado botones florales	<15	20-45	>70
Remolacha	Limbo hojas adultas no viejas	<20	25-50	>250

Manzano	Hojas	<20	28-50	-----
Vid	Hojas	<25	25-50	>200

CORRECCIÓN DE LAS CARENCIAS DE -BORO-

FUENTES AGRÍCOLAS MAS CORRIENTES DE -BORO

FUENTES	FÓRMULAS	(%) de BORO aprx:
Bórax	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	11'5 total 10'4 sol.agua
Tetraborato de Sodio	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	14 total 13 sol.agua
Tetraborato de Sodio	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$	20 total
Pentaborato de Sodio	$\text{Na}_2\text{B}_{10}\text{O}_{16} \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	18 total
Solubor	$\text{Na}_2\text{B}_{10}\text{O}_{16} \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	20'5 total
Ácido Bórico	H_3BO_3	17'5 total
Fritado de Boro	$\text{Na}_2\text{B}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$	10-17 total
Colemanita	$\text{Ca}_2\text{B}_7\text{O}_{11} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	11-13 total 1'5 sol.agua

DOSIS Y FORMAS DE APLICAR LOS CORRECTORES DE -BORO-

Los correctores de **-BORO-** se aplican normalmente al suelo y en algunos casos también por vía foliar.

Corrientemente se aplican mezclados con otras fuentes de abonos a base de **N.P.K.**

La dosis de cada corrector aplicable al suelo tiene siempre un abanico muy estrecho ; dada el estrecho margen que existe entre la deficiencia y la toxicidad.

Se acepta corrientemente una dosis entre **0.3 - 3 Kg. (B)/ha** según sean los cultivos mas o menos sensibles a la carencia o al exceso.

Estas dosis varían ligeramente si se aplica el corrector a toda la superficie del campo o en forma localizada en bandas o surcos. En este ultimo caso se aceptan dosis de **0.5 - 1 Kg.(B)/ha.**

Las aplicaciones foliares suelen practicarse , principalmente , en frutales y en viña pero se pueden emplear en todos los cultivos. En las hortalizas de crecimiento rápido se utilizan en los primeros estadios del crecimiento.

Sin embargo el **-BORO-** absorbido a través de las hojas es rápidamente utilizado en las hojas que lo reciben. De aquí se moverá con dificultad y solo asociado a azúcares , por lo tanto poco disponible para la planta en las zonas de nuevo crecimiento.

La absorción por vía foliar es mucho mas rápida que a través de las raíces. Por lo tanto , si además se practica un reparto muy fraccionado de las dosis totales , a lo largo del ciclo , se van cubriendo las necesidades de todas las partes nuevas en crecimiento y de los frutos.

La forma mas eficaz de asimilar **-BORO-** para la planta, debería ser la absorción radicular y el transporte por el "**XILEMA**" , durante todo el ciclo ; si las condiciones del suelo lo permitieran. Sin embargo son estas dificultades las que muchas veces hacen recomendable el empleo de aplicaciones foliares .

En aplicaciones foliares , suele emplearse Ac.Bórico en forma de complejos a las dosis de 0.1 - 0.5 Kg. (B)/ha.

TOXICIDAD POR EXCESO DE -BORO

El **-BORO-** puede llegar a ser tóxico para muchas plantas ; que tienen sus límites de toxicidad muy próximos a los de carencia.

El **-BORO-** es el macroelemento con menor margen entre los valores tóxicos y los carenciales.

Los síntomas de toxicidad son casi los mismos que los de carencia. Comienza con un amarillamiento de las extremidades de los brotes y bordes o puntas de las hojas. Todo esto va progresando entre los nervios hasta llegar al nervio central. Las hojas oscurecen y acaban cayendo de forma prematura.

Estas toxicidades pueden darse en suelos con estas condiciones:

- Elevadas aportaciones de BORO soluble ; principalmente si se hace de forma localizada.**
- Alta polución por fuentes industriales de las aguas de riego o del aire.**
- Suelos procedentes de sedimentos marinos.**
- Suelos áridos.**
- Suelos con roca madre rica en Boratos.**
- Suelos regados con aguas demasiado ricas en BORO**

Se acepta que cantidades de **-BORO-** *soluble en agua hirviendo* de 5 ppm en suelo, pueden empezar a presentar problemas de toxicidad.

Sin embargo hay casos extremos tales como la SOJA que manifiesta toxicidad ante 2ppm de **BORO** en suelo , pero puede acumular en la planta hasta 200 ppm.

En cambio el ALGODÓN no manifiesta toxicidad hasta las 10 ppm de **BORO** en suelo o la REMOLACHA que lo hace ante 40ppm de **BORO** en suelo. En cambio esta misma remolacha solo es capaz de acumular en la planta 30 ppm de **BORO**

Las formas mas usuales para luchar contra esta toxicidades serian:

-la vigilancia del agua de riego

-el encalado moderado para controlar la asimilación del BORO del suelo.

-en casos de toxicidad puntual , aumentar el empleo de abono nitrogenados.

TOLERANCIA DE ALGUNOS CULTIVOS AL EXCESO DE -BORO-

TOLERANTES	SEMITOLERANTES	SENSIBLES
Espárragos	Patata	Peral
Palmera datilera	Tomate	Manzano
Remolacha azucarera	Olivo	Vid
Alfalfa	Maíz	Melocotón
Gladiolo	Batata	Albaricoque
Judías	Limero	Naranja
Cebollas	-----	Aguacate
Nabos	-----	Pomelo
Repollo	-----	Limón
Lechuga	-----	-----
Zanahoria	-----	-----