

RESPUESTA MORFOFISIOLÓGICA DEL FRIJOL (*Phaseolus vulgaris* Var. *Diacol Calima*) A LA APLICACIÓN EDAFICA DE VARIAS FUENTES DE BORO

Luis Eghmad Yamil R.¹ - Gonzalo Medina P.¹
Luis A. Buitrago² - Faunier Salazar CH.³

COMPENDIO

En invernadero se aplicaron Ubor 15 (15.2%), Borate 48 (14.8%), Ácido Bórico (17.5%), Mezcla (Ácido Bórico + Ubor 15, 16.35%). Al suelo, con un contenido de 0.04 ppm de B, se le corrigió la deficiencia elevando su nivel a 1 ppm. A la vez se efectuó corrección de los demás elementos. Borate 48 tuvo menor efecto positivo en la fase reproductiva y menor residualidad entre tratamientos, las demás fuentes mostraron buen comportamiento en todos los estados, y predominando en las variables TAN (Tasa de Acumulación Neta), TCR (Tasa de Crecimiento Relativo), IC (Índice de Cosecha); respecto a la residualidad en el suelo, Ubor 15 y Mezcla obtuvieron el mejor resultado, al presentar niveles suficientes para cumplir otro ciclo vegetativo, estando estos niveles muy por encima al contenido inicial. Hubo presencia de deformaciones en las semillas obtenidas del testigo, difiriendo tanto en cantidad como en calidad de las producidas por los tratamientos boratados.

Palabras claves: Boro, Frijol, Residualidad de boro.

ABSTRACT

MORPHOPHYSIOLOGICAL RESPONSE OF THE BEAN TO THE EDAFIC APPLICATION OF THE DIFFERENT SOURCES OF BORON

A study was carried out in the greenhouse at the National University of Colombia (Palmira campus), to the application Ubor 15 (15.2%), Borate 48 (14.8%), Boric Acid (17.5%), and Mix (Boric Acid + Ubor 15%, 16.35%); and control with 0.04 parts/million of Boron. Borate 48 was seen to be the source with the least positive effect in the reproductive phase and with the least residuality between treatments. The other sources reacted well in all states and predominated in the variables TAN (Rate of Net accumulation), TCR (rate of relative growth), CI (Crop index); with regard to the residuality in the soil Ubor 15 and the mix showed the best results, by showing levels high enough to complete another vegetative cycle. These levels were for above the initial content (0.04 ppm). There were deformations seeds obtained from the control; these were reflected as much in the number of seeds as in their quality of the seeds produced by the Boron enhanced treatments.

Keywords: Boron, Bean, Boron residuality.

INTRODUCCION

La solución del suelo, contiene comúnmente de 0.01 a 1 ppm de boro en forma de ácido bórico disuelto en un pH neutro a ácido débil, y como borato a un pH alto: las concentraciones de la solución varían, ya que estos compuestos disueltos pueden ser adsorbidos por los coloides del suelo (Bornemisza, 1982)

La disponibilidad de B está en esencia afectada por los mismos factores que favorecen su fijación así como

por aquellos relacionados con el material parental, clima, interacciones con otros elementos, materia orgánica y textura del suelo.

El pH alto y alto contenido de carbonatos de calcio son evidencia de que el B es altamente fijado en suelos alcalinos en presencia de calcio libre, pasando a formas temporalmente inaprovechables por las plantas (Garavito, 1.966).

La cantidad de Boro en la planta o el suelo tiene menos efecto sobre el rendimiento de la planta y el crecimiento

¹ Ing. Agr. Universidad Nacional de Colombia sede Palmira A.A. 237. ² Ing. Agr. M. Sc. Profesor, Universidad Nacional de Colombia sede Palmira A.A. 237.
³ Ing. Agr. M Sc.

que la relación entre el Boro y otros elementos nutrientes (Woodruff et al, 1.960).

El B favorece la absorción de cationes, pero retrasa la de aniones; Parece que el boro puede sustituir al calcio en ciertas funciones dentro de la planta, juega papel importante en el metabolismo del nitrógeno y los carbohidratos (Flor, 1.975).

La materia orgánica juega papel importante en la disponibilidad de Boro en los suelos. Los microorganismos liberan progresivamente parte importante del Boro retenido en la materia orgánica de los suelos (Parker y Gardner, 1.982).

El boro está muy relacionado con la actividad de los meristemas, cuando está en poca cantidad, la división celular no continúa normalmente; cuando esto sucede la separación de las células divisibles no es completa, cuyas paredes longitudinales permanecen cortas; se desarrollan hojas deformes, entrenudos cortos, eventualmente los retoños y raíces de los meristemas mueren o se vuelven extremadamente débiles, y el lado atrofiado del meristemo desarrolla retoños auxiliares (Turner, 1986). Está claro que el B es relativamente inmóvil en las plantas y que la división celular y/o el desarrollo son una contingencia temprana de la deficiencia del boro (Price, 1.983).

Los síntomas de deficiencia de boro se manifiestan en crecimiento anormal o retardado de los puntos de crecimiento apicales. Las hojas jóvenes son deformadas, arrugadas y de color verde azulado oscuro. Clorosis intervenal puede ocurrir, las hojas y tallos se vuelven quebradizos indicando una anomalía en la transpiración (Devlin, 1.982). A medida que la deficiencia progresa el punto de crecimiento terminal muere, las plantas son pequeñas, y la formación de flores y frutos se restringe o interrumpe (Brown, 1.979). La deficiencia del boro también afecta el desarrollo de la raíz, las cuales son débiles, engrosadas y con las puntas necrosadas (Bussler, 1.960).

Flor y otros (S.F.) en suelos de la granja de CIAT, comparando dos fuentes de B (bórax, 10.5% B y Solubor 20.5% B) y sus niveles de B (0, 1, 2, 4, 8 Kg/ha) para frijol (*Phaseolus vulgaris*) var. Calima y Tui, encontraron que 1.0 Kg de B/ha era la cantidad más recomendable; los frijoles negros fueron más afectados por la deficiencia de B. Los niveles críticos para Calima fueron de 23 ppm. y para Tui de 21 ppm.

El frijol posee en sus hojas superiores bien desarrolladas, sin peciolo al inicio de floración una concentración deficiente de Boro cuando es de 15 ppm., normal cuando es de 25 ppm.; y tóxica cuando alcanza las 45 ppm (Shorrocks, 1.982; Howleler, 1.983).

En Colombia son pocos los estudios con Boro como elemento nutriente a niveles de necesidades en los cultivos, relación planta-suelo, dosis y épocas de aplicación. Las observaciones visuales de cultivos de frijol en el Valle del Cauca, muestran que en llenado de grano hay mal formación de frutos; que posiblemente se deba a deficiencias de Boro que inciden grande-mente en el rendimiento y calidad de la cosecha.

El objetivo general del estudio fue observar la respuesta morfofisiológica del frijol *Phaseolus vulgaris* Var Diacol Calima a la aplicación de varias fuentes de boro.

Para lograr este propósito se pretendió:

1. Evaluar el efecto al crecimiento del frijol, en 4 fuentes edáficas de boro.
2. Observar el comportamiento en las plantas de frijol respecto a la acumulación de materia seca, componentes del rendimiento, e índices de crecimiento (IC, TAN y TCR) como respuesta a las aplicaciones de diferentes fuentes de boro.

METODOLOGIA

Se sembró frijol (*Phaseolus vulgaris* var. Diacol Calima) en un suelo Pachic Haplustoll, con bajo contenido de hierro y boro, cuyo análisis químico reportó: Na 0.16 me/100 g, K 0.62 me/100 g, Ca 15.5 me/100 g, Mg 10.5 me/100 g, ClC 27.4 me/100 g, P 63.9 ppm, Fe 5.23 ppm, Mn 24.4 ppm, Cu 3.36 ppm, Zn 3.24 ppm, B 0.04 ppm, % MO 1.8, pH Rel 1:1 7.1, Textura Arl.

El Diseño experimental fue completamente al azar con seis tratamientos (cuatro fuentes boratadas, un testigo corregido y un testigo absoluto) y cuatro repeticiones, unidades experimentales con 17 plantas cada una.

Los tratamientos del ensayo fueron:

- T₁: N, P, K, Fe más Ubor 15 (15.2% de boro).
- T₂: Testigo corregido con N, P, K más quelato de Fe y sin B.
- T₃: N, P, K, Fe más Mezcla de Boronatrocalcita + ácido bórico (16.35% de boro).
- T₄: N, P, K, Fe más borate 48 (14.8% de boro).
- T₅: Testigo absoluto.
- T₆: N, P, K, Fe más Acido Bórico (17.5% de Boro).

Se realizaron muestreos para la determinación de biomasa producida, desarrollo vegetativo, índice de cosecha (IC), tasa de acumulación neta (TAN) y tasa de crecimiento relativo (TCR). Además, se realizó el análisis de tejidos para observar los contenidos de B en semilla,

raíz, parte aérea; también se analizó el suelo para observar la residualidad de B.

Las variables se registraron en cuatro estados del ciclo vegetativo de la planta: I: 20 días (plántula); II: 40 días (prefloración); III: 60 días (llenado de fruto); IV: 75 días (madurez fisiológica).

RESULTADOS Y DISCUSION

Longitud del Tallo. En ninguno de los estados se presentaron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos, aunque en los estados III y IV predominó el testigo (T_5) junto con el Borate 48 (T_4). Lo cual indica que la deficiencia de otros elementos tales como N, Fe, influencia el desarrollo del tallo.

Los informes referidos a los efectos del B en la división celular, vinculada estrechamente a la formación y desarrollo de estructuras tales como el tallo, son contradictorios. Cambios en las tasas de división celular en los meristemos de las plantas bajo deficiencia de B son probablemente efectos indirectos de esta deficiencia, la cual directamente afecta las concentraciones de AIA, alterándolas (Borax, 1.990).

Longitud de la Raíz. Durante las tres primeras etapas de desarrollo no hubo diferencias estadísticamente significativas en el desarrollo radical entre los tratamientos, anotando que la el tratamiento sin B presentó los promedios más bajos. Bussler (1.960) afirma que la deficiencia de Boro afecta el desarrollo de la raíz, presentándose débiles y engrosadas.

Entre los tres primeros estados y IV hubo diferencia considerable en la longitud de la raíz, en donde el crecimiento vegetativo de la raíz se detiene para dedicarse al crecimiento reproductivo, situación ésta que se presenta ya que en esta última fase se efectúa el llenado de vainas, para lo cual se requiere un activo transporte de nutrientes vía el floema y por ende se requieren raíces bien desarrolladas, lo anterior ocurrió en general para los seis tratamientos, con una leve ventaja a favor del T_4 , borate 48, esto último debido a la fácil remoción de B que acontece en esta tratamiento, por lo cual al presentarse deficiencia se inicia un elongamiento de la raíz, en respuesta a la deficiencia de B (Figura 1).

Acumulación Peso Seco Raíz. En el estado I hubo diferencias significativas entre tratamientos a nivel del 1%, en donde el T_2 tuvo una acumulación notoria de peso en las raíces; en el estado II no se presentaron

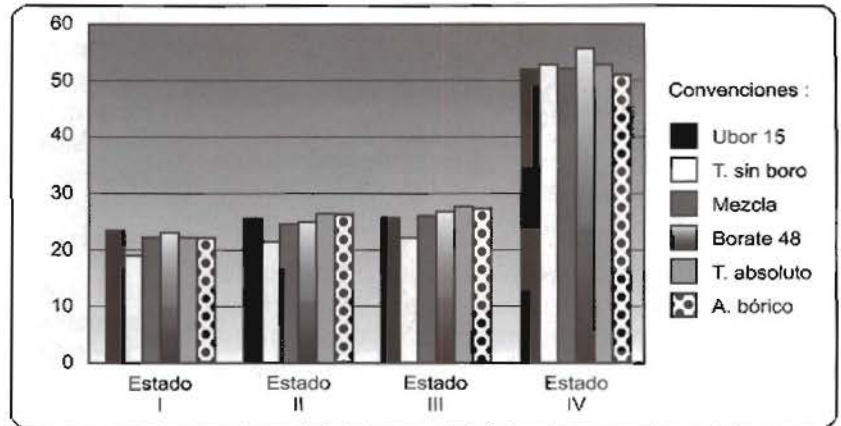


Figura 1. Acumulación en la Longitud de la Raíz (cm)

diferencias significativas, predominando el T_6 . En el estado III las diferencias fueron significativas, testigo absoluto presentó mayores promedios de peso seco de raíz, debido posiblemente a la deficiencia de varios elementos (B, Fe, N) por lo cual necesita mayor exploración por parte de las raíces en busca de los elementos faltantes, traducido esto en mayor acumulación de peso seco en detrimento de la parte aérea. (Figura 2).

En el estado IV donde se presentaron diferencias a nivel del 5%, el tratamiento 3 (mezcla) presentó la mayor acumulación de materia seca radical, posiblemente por que la solubilidad del boro en este tratamiento ofrece mejor aprovechamiento por parte de la planta al obtener valores superiores a los 2 subsiguientes que fueron mezclados para dar origen al T_3 , esto es el T_1 (Ubor 15) y T_6 (ácido bórico).

Acumulación Peso Seco Tallo. En las dos primeras fases, donde ocurre la formación de las estructuras vegetativas, no hubo diferencias estadísticas significativas entre tratamientos; cuando se forman las estructuras reproductivas, la acumulación de materia

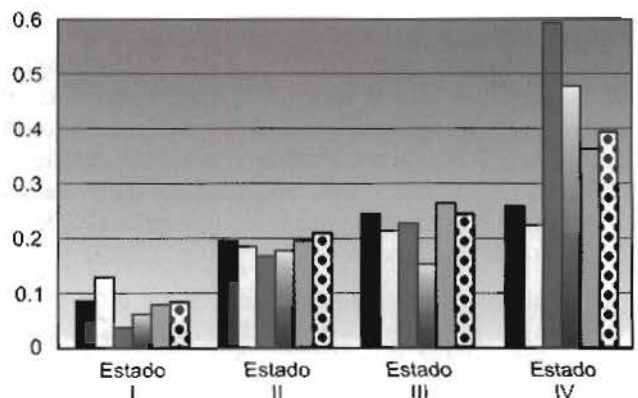


Figura 2. Acumulación peso seco Raíz (g)

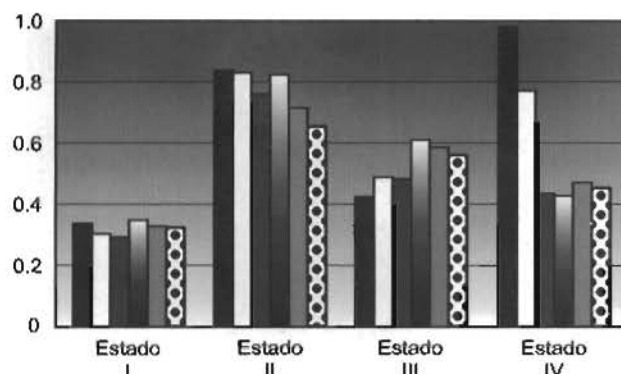


Figura 3. Acumulación peso seco Tallo (g)

seca en el tallo disminuye a causa de la translocación que se hace hacia los órganos reproductores.

En el estado IV se observaron diferencias significativas entre tratamientos a nivel del 5%, T_1 -Ubor 15- mostró los niveles más altos (0.97 g de materia seca), siendo T_3 y T_4 los más bajos, lo cual señala su función en pro de las estructuras reproductivas; en tanto que el T_1 , tuvo efecto positivo en ambas funciones fisiológicas. (Figura 3).

Acumulación Peso Seco Hoja. En el estado inicial, cuando el sostenimiento de la planta se realiza por parte de las reservas del cotiledón no se presentaron diferencias significativas entre tratamientos. En el estado II, se presentaron diferencias significativas a nivel del 1%, en donde el T_4 , Borate 48, por su alta solubilidad manifestó los valores más altos; para el estado III hay un equilibrio tanto de las fuentes de B como en los testigos. En la fase IV el Borate 48 redujo su rendimiento por causa de la disminución de su asimilación: mientras tanto que el T_1 , Ubor 15 y el T_3 (Mezcla), presentaron los mejores comportamientos gracias a su mayor residualidad. El testigo absoluto mostró el menor desarrollo puesto que no solo es afectado por deficiencia de B sino también por la deficiencia de otros elementos esenciales (Figura 4).

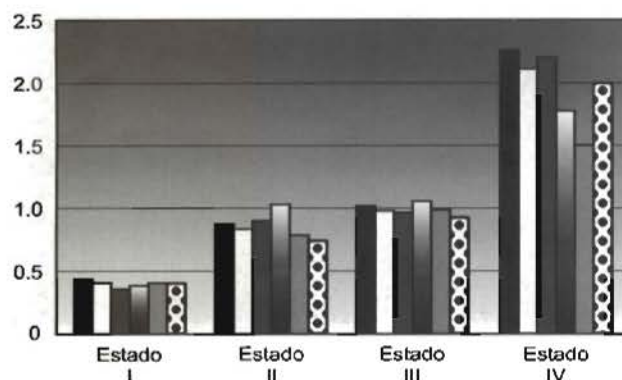


Figura 4. Acumulación peso seco Hoja (g)

Acumulación Peso Seco Partes Reproductivas. En el estado II, cuando se inicia levemente la formación de estructuras reproductivas, no se presentaron disimilitudes. En el estado III los tratamientos boratados marcan la diferencia respecto de los testigos, evidencia de la esenciabilidad del B en la constitución del sistema reproductivo de las plantas, con un leve margen a favor del T_4 consecuencia de la anotada solubilidad y por ende mayor asimilación por parte de la planta. En ninguno de estos estados (II-III) se observaron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos. Por el contrario, para el estado final, donde ocurre el llenado de vainas y la madurez fisiológica, se observaron diferencias significativas a nivel del 1%, siendo Ubor 15 (T_1) y la Mezcla (T_3) los tratamientos que fueron mejor aprovechados por la planta. Borate 48 fue el tratamiento con menor producción en las fases productivas. Los testigos presentaron menor desarrollo de estas estructuras. (Figura 5).

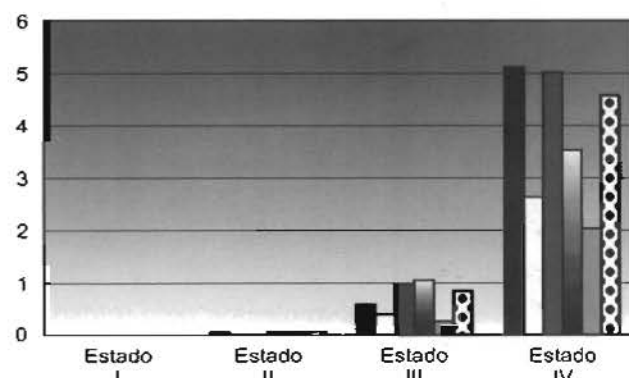


Figura 5. Acumulación peso seco de partes reproductivas (g)

Area Foliar. Para esta variables se observaron diferencias significativas al nivel del 1% en los estados evaluados. El aumento del área foliar esta relacionado con el número y tamaño de las hojas. En T_4 se manifestó mayor número y tamaño de hojas, algo similar ocurrió con T_3 en los tres primeros estados.

El testigo presentó comportamiento normal, parecido al de los tratamientos boratados, exceptuando T_4 , con lo cual es posible pensar que el B juega papel secundario en el desarrollo de estructuras vegetativas y por ende del área foliar.

Tasa de Acumulación Neta (TAN). En el estado II se observaron diferencias significativas a nivel del 1% en la TAN la cual fue superior al estado III (que no presento diferencias significativas entre tratamientos), esto a consecuencia de que en los primeros 40 días después de emergencia (DDE) acumula más materia seca, que en los 20 días siguientes; debido a que las plantas en

los primeros días de su ciclo de vida presentan mayor crecimiento de sus partes vegetativas, mientras que en el estado III existe marcada disminución de su crecimiento, para actuar en función de la formación de estructuras reproductivas.

Para el estado IV se presentaron diferencias significativas entre tratamientos a nivel del 1%, y se reitera un aumento en la TAN, debido a la necesidad de acumular metabolitos para el llenado de vainas y frutos, mientras que el crecimiento del área foliar, aunque existe es mínimo.

La TAN mostró buena respuesta a los tratamientos con elementos boratados, aunque Borate 48 posee menor tasa de acumulación neta, ya que en los estados

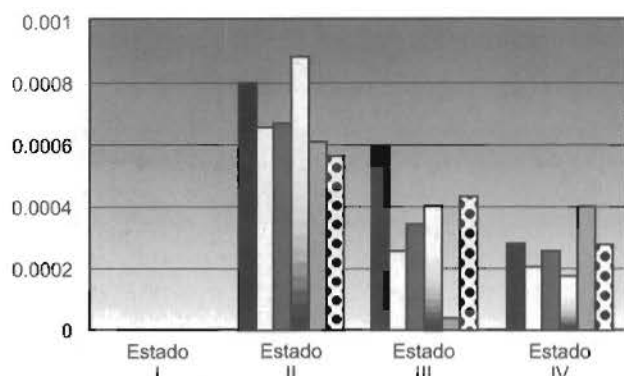


Figura 6. Tasa de acumulación neta (g/día)

II y III es más asimilable y por lo tanto reduce su disponibilidad para los estados finales, a la vez que existe mayor aumento del área foliar en las fases II y III lo que lleva a menor TAN, y en el estado IV su acumulación de materia seca es poca y además tiene gran crecimiento del área foliar. La fuente boratada de mayor regularidad durante todo el ciclo, fue Ubor 15 (T_1) (Figura 6).

Tasa de Crecimiento Relativo (TCR). Es importante anotar el descenso en los valores de esta variable en el estado III. Al final del proceso, estado IV, se reactiva la acumulación de materia seca y por ende el ascenso en los valores.

Para esta variable se observaron diferencias significativas a nivel el 5% entre los tratamientos para los estados III y IV; el mejor comportamiento lo muestran los tratamientos boratados en las etapas II y IV, sobresaliendo notablemente T_3 , (Mezcla); dicho tratamiento disminuye su efecto sobre la variable en el estado III, lo cual caracteriza su estado positivo en pro de la formación de los elementos de producción, esto es, floración, vainas y semillas. (Figura 7).

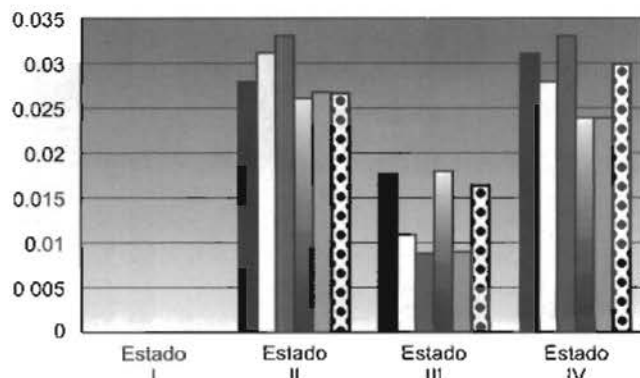


Figura 7. Tasa de crecimiento relativo

El tratamiento sin B (T_2) presentó un comportamiento aceptable en todos los estados, lo cual aclara la función de este elemento en fases reproductivas, más no como factor determinante en la acumulación de materia seca. Es importante anotar que el efecto negativo sobre este aspecto, como lo enseña el testigo absoluto, es producto de la deficiencia no solo de boro sino de otros elementos esenciales.

En el estado III, Ubor 15, Borate 48 y ácido bórico mostraron comportamiento sobresaliente, resultado de su solubilidad, lo cual es aprovechado por la planta para ganar materia seca diariamente.

Índice de Cosecha. Para esta esta variable no se observaron diferencias significativas entre tratamientos, aunque los tratamientos compuestos boratados mostraron los mejores resultados en este aspecto, obteniéndose valores entre 61,7% (Ubor 15) y 63% (mezcla y Acido Bórico), el Borate 48 obtuvo 56.3% entre tanto los testigos presentaron valores tan solo del orden del 53% ($T.A.$) y 56.25% (Corrección sin B) (Figura 8).

Respecto al balance interno de la planta en cuanto a sus fases vegetativa y reproductiva se refiere, se puede

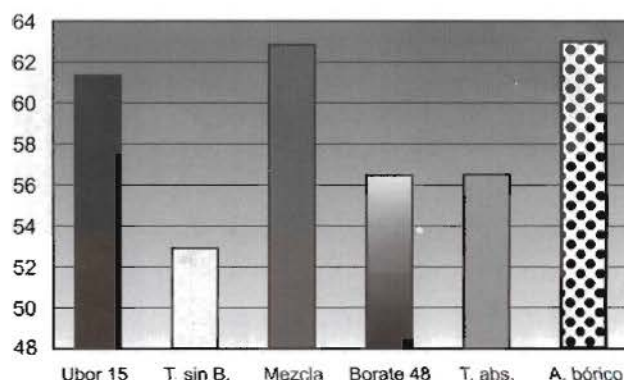


Figura 8. Índice de Cosecha (%)

anotar que debido al alto gasto energético por parte del testigo en los estados iniciales de desarrollo en pro de la obtención de nutrientes que le permitan mantener un equilibrio nutricional, se provoca un detrimento fisiológico que se refleja en el bajo rendimiento productivo de la planta; por lo cual aunque no se observaron diferencias significativas estadísticamente se nota que los tratamientos boratados, por tener un estado nutricional ideal concentran todo su potencial en la obtención de una producción óptima, apreciando diferencias del orden del 10% a favor de dichos tratamientos.

Análisis de contenido de boro, Parte Aérea. El tallo, la hoja y la vaina del fruto, presentaron la mayor concentración de Boro; el tratamiento Ubor 15 presentó los menores contenidos de Boro, debido a que es una fuente poco soluble gracias a sus altos contenidos de óxidos de Sodio y Calcio (Na_2O , CaO), lo cual hace que el B se solubilice lentamente tomándose poco disponible para la absorción de la planta, lo cual da como resultado una buena residualidad en el suelo para su utilización futura. El ácido bórico muestra mayor concentración en la planta, consecuencia de la condición de ácido de esta fuente, lo que favorece su alta solubilidad y buena absorción.

La Mezcla, gracias a que proviene de las dos fuentes anteriormente mencionadas, presentó características intermedias mostrando asimilación aceptable y alta residualidad en el suelo.

A su vez el Borate 48, que es una fuente granulométrica muy fina con proceso muy sofisticado de elaboración en la cual los óxidos de Calcio y Hierro son muy bajos, y posee alta solubilidad, mostró contenidos altos de Boro en la planta y una residualidad baja en el suelo. Finalmente, en el testigo los contenidos de boro observados se deben a la alta inversión del potencial

energético de la planta en pro de la obtención de los nutrientes para el desarrollo fisiológico durante sus fases vegetativas, en donde son aprovechados; en tanto que la etapa reproductiva dicho potencial se ha disminuido al punto que no es lo suficientemente adecuado para cumplir eficientemente su función de reproducción (Cuadro 1).

La raíz. Presentó las menores concentraciones de B, ya que este elemento es absorbido por las plantas por difusión, seguido por una absorción activa, para distribuirse en la planta, incrementando su contenido de las partes inferiores a las superiores. Los tratamientos con mayor contenido de B son los testigos T_2 y T_5 ; esto debido a que la deficiencia de B produce un mal desarrollo de los vasos conductores que evitan su buena movilidad en la planta (Gupta, 1.979) y por ende su gran acumulación en la raíz. Por otro lado los tratamientos boratados presentaron las menores concentraciones ya que este es movido por vía floema hacia las partes superiores de la planta (Cuadro 1).

Semilla. Los tratamientos boratados, con excepción del Borate 48, presentan los mayores contenidos de B en la semilla, incluso mayores que la semilla inicial, esto debido a que el Boro se moviliza en la planta por medio de un transporte activo y a su vez asimilado por medio de procesos fisiológicos. En el tratamiento con Borate 48 la concentración fue menor a la de la semilla inicial, aunque superior a los testigos; esto por la temprana asimilación por las plantas de este producto y a su solubilidad. Los testigos presentaron concentraciones bajas, acumulando el B procedente de la semilla inicial y de trazas obtenidas de agentes externos no controlados, tales como boratos que pudiesen estar contenidos en el agua (Cuadro 1).

Residualidad Suelo. Las fuentes que mayor residualidad presentaron fueron Ubor 15 y Mezcla lo cual corrobora su poca lixiviabilidad y por ende su mejor disposición para ser utilizado por plantaciones futuras.

El tratamiento con la mezcla tuvo un comportamiento intermedio entre sus dos fuentes madres, derivado posiblemente de la fuente Ubor 15 el cual presenta mayor residualidad.

El tratamiento sin B, presentó una residualidad de 0.28 ppm, es decir aumento su nivel en 0.24 ppm, lograda a partir de los diferentes factores que aportan B, estos son boratos contenidos en el agua de riego, la semilla y la posible translocación desde la misma planta hacia el suelo, lo cual es favorecido por

Cuadro 1. Contenido de boro en las diferentes partes de la planta en el suelo

| TRATAMIENTO | PARTE AEREA | RAIZ | SEMILLA | SUELO |
|---------------------|-------------|-------|---------|-------|
| Ubor 15 | 45.50 | 13.00 | 29.25 | 0.44 |
| Corrección sin boro | 54.50 | 21.00 | 18.75 | 0.28 |
| Mezcla | 56.00 | 15.50 | 32.00 | 0.40 |
| Borate 48 | 56.00 | 16.50 | 19.00 | 0.20 |
| T. absoluto | 43.00 | 21.25 | 23.25 | 0.18 |
| Acido bórico | 64.00 | 15.50 | 29.25 | 0.28 |

su interacción con otros elementos encontrados en sus niveles favorables. El testigo absoluto obtuvo una residualidad de 0.18 ppm, debido a los factores mencionados para T_2 pero con la desventaja de tener otros elementos en niveles bajos lo cual desfavorece su aumento en la solución del suelo.

A lo largo del ciclo vegetativo se observó cómo T_4 se lograba asimilar en mejor forma principalmente en los estados iniciales, causa que aunada a su alta solubilidad y lixiviabilidad hacen que presente un nivel residual por debajo inclusive del testigo-corrección sin B (Cuadro 1).

BIBLIOGRAFIA

- BORNEMISZA, N. E. 1982. Introducción a la química de suelos. Washington, O.E.A. p. 62-63
- BORAX. 1990. Behaviour, Function and Significance of Boron in Agriculture. St. John's College. Oxford, England. July. 44 p.
- BROWN, J. C. 1979. Effects of Boron in stress on copper enzyme activity in tomato. J. plant nutrition. 1: 39-59.
- BUSSLER, W. 1960. Relationship between root formation Boron in sunflower. Z. Pflanzenernähr. Düng. Bodenk. 92 : 1-14
- DEVLIN, R. 1982. Fisiología Vegetal. Barcelona. Omega. 517p.
- FLOR, C. A. 1975. Zinc y Boro: Dos microelementos limitativos para la producción de algunas cosechas en las regiones cálidas de Colombia. Contribución del CIAT, a la XXI reunión anual del programa cooperativo centroamericano, para el mejoramiento de cultivos alimenticios, PCCMCA, San Salvador. El Salvador. Abril 7-11.
- , S. F. Zinc y boro dos micronutrientes limitativos para la producción de arroz y frijol en algunas regiones cálidas de Colombia. CIAT. Mimeografiado, 23 p.
- GARAVITO, C. 1966. Propiedades del suelo con deficiencias de Boro en el valle del Cauca. Palmira. p. 1-86. Tesis (M.Sc.) Universidad Nacional de Colombia. Instituto Colombiano Agropecuario. (ICA).
- GUPTA, U. C. 1979. Boron nutrition of crops. Adv. in Agronomy. 31 : 237-307.
- HOWLELER, R.H. 1983. Análisis del tejido vegetal en el diagnóstico de problemas nutricionales, Algunos cultivos. CIAT. Cali, Col. 28 p.
- PARKER, D. R. y GARDNER, E. H. 1982. Factors affecting the mobility and plant availability of boron in some western Oregon soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 46 : 573-578.
- PRICE, C.A. 1983. Funciones de los micronutrientes en las plantas p. 253-265. En: MORVEDT J.J. Micronutrientes en la agricultura. México A.G.T.
- SALAZAR. 1987. Monografía sobre boro. Agrosagi y Cia Ltda. Palmira, Colombia. 47 p.
- SHORROCKS, M. V. 1982. Boron deficiency its prevention and cure. Borax house. London. 43 p.
- TURNER, J. R. 1986. Boron in agriculture. Marketing planning United States. Borax and Chemical Corporation. A member of the RTZ group. Samudio y Asociados. Bogotá, Colombia.
- WOODRUFF, C. M. et al. 1960. "How Potassium caused boron deficiency in soybeans". Better crops with plant food. V 44 No. 2, pp 85 - 88.