

19499

RESPUESTA DE LA PAPA CRIOLLA (*Solanum phureja* Juz et Buk)
VARIEDAD YEMA DE HUEVO A LA APLICACION DE FUENTES Y DOSIS DE
BORO EN UN Typic Dystrudept DE CUNDINAMARCA

OLGA VIANETH AVILA SILVA
DIANA RODRIGUEZ BECERRA

19499

CORPORACION UNIVERSITARIA DE CIENCIAS APLICADAS Y AMBIENTALES
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
CARRERA DE INGENIERIA AGRONOMICA
SANTA FE DE BOGOTA, D. C.

2000

**RESPUESTA DE LA PARA CRIOLLA (*Solanum phureja* Juz et Buk)
VARIEDAD YEMA DE HUEVO A LA APLICACION DE FUENTES Y DOSIS DE BORO
EN UN *Typic Dystrudept* DE CUNDINAMARCA**

**OLGA VIANETH AVILA SILVA
DIANA RODRIGUEZ BECERRA**

**CORPORACION UNIVERSITARIA DE CIENCIAS APLICADAS Y AMBIENTALES
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
CARRERA DE INGENIERIA AGRONOMICA
SANTAFE DE BOGOTA D.C.**

2000

**RESPUESTA DE LA PAPA CRIOLLA (*Solanum phureja* Juz et Buk) VARIEDAD
YEMA DE HUEVO A LA APLICACIÓN DE FUENTES Y DOSIS DE BORO EN UN
Typic Dystrudept DE CUNDINAMARCA**

**OLGA VIANETH AVILA SILVA
DIANA RODRIGUEZ BECERRA**

**Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de
Ingeniero Agrónomo**

**DIRECTOR
RODRIGO LORA SILVA
Ing. Químico. M.Sc**

**CODIRECTOR
RICARDO GUERRERO RIASCOS
Ing. Agrónomo. M.Sc.**

**CORPORACION UNIVERSITARIA DE CIENCIAS APLICADAS Y AMBIENTALES
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
CARRERA DE INGENIERIA AGRONOMICA
SANTAFE DE BOGOTA D.C.**

2000.

Nota de aceptación

Presidente del jurado

Jurado

Jurado

DEDICATORIA

A mis padres:

Quienes con su incansable esfuerzo han luchado y me han dado los motivos suficientes para triunfar y superarme.

A mis hermanos:

Por su confianza, colaboración y apoyo que me han brindado a través de estos años.

OLGA VIANETH

DEDICATORIA

A quienes con su esfuerzo y apoyo participaron directa e indirectamente para la realización del mismo.

A mis padres:

CARMEN ELISA Y JOSE AGUSTIN

A mis hermanos:

ALEJANDRO, JORGE, ROSA, IVOON.

A:

GONZALO ERNESTO.

DIANA

AGRADECIMIENTOS

Un agradecimiento muy especial a las siguientes personas y entidades por la colaboración prestada:

- Ingeniero Químico, M.Sc. RODRIGO LORA SILVA. Director de Tesis.
- Ingeniero Agrónomo, M.Sc. RICARDO GUERRERO RIASCOS. Codirector de Tesis.
- MONOMEROS COLOMBO VENEZOLANOS S.A. (E.M.A.). Por su apoyo económico para la realización del presente trabajo.
- Señor AGUSTIN RODRIGUEZ. Propietario de la finca "Arizona" sitio donde se realizaron las pruebas de campo.
- ANA ISABEL SEVILLANO CARDENAS. Por su colaboración en la descripción del perfil de suelo.

- Doctora AURORA CUESTAS. Por su contribución en la determinación de los parámetros de calidad involucrados en el trabajo.
- MARGOTH AREVALO. Auxiliar de laboratorio de nutrición animal de la U.D.C.A. Por su colaboración, apoyo y enseñanza en el manejo de los equipos, para la determinación de los parámetros de calidad.
- Ingeniero Agrónomo. FERNANDO COLORADO. Por su asesoría en el análisis económico.
- A todas aquellas personas que de una u otra forma cooperaron en el desarrollo del presente trabajo.

LAS AUTORAS

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION	17
2. REVISION DE LITERATURA	20
2.1 CLASIFICACION TAXONOMICA	20
2.2 HISTORIA	21
2.3 CARACTERISTICAS MORFOLOGICAS	21
2.4 CARACTERISTICAS AGRONOMICAS	22
2.5 FERTILIZACION EN EL CULTIVO DE LA PAPA	22
2.6 MICROELEMENTOS EN EL CULTIVO DE LA PAPA	23
2.6.1 El boro en el suelo	25
2.6.2 Adsorción de boro	26
2.6.3 Factores que afectan la disponibilidad de boro en las plantas	26
2.6.4 Nivel crítico de boro en suelos	28
2.6.5 Funciones fisiológicas del boro en las plantas	29
2.6.6 Síntomas de deficiencia de boro	29
2.6.7 Síntomas de toxicidad de boro	30

2.6.8 Fuentes comunes de boro	30
2.6.9 Formas de aplicación de boro	31
2.6.10 Dosis de boro	32
2.7 CARACTERISTICAS DE LA PAPA PARA INDUSTRIA	33
2.7.1 Materia seca	34
2.7.2 Azúcares reductores	36
2.8 ESTUDIOS RELIZADOS EN COLOMBIA	36
3. METODOLOGIA DE TRABAJO	39
3.1 LOCALIZACION GEOGRAFICA	39
3.2 CARACTERIZACION DEL SUELO	39
3.3 CARACTERISTICAS PEDOLOGICAS Y MANEJO	40
3.4 DISEÑO EXPERIMENTAL	41
3.5 UNIDAD EXPERIMENTAL	41
3.6 METODOS DE CAMPO	42
3.7 FERTILIZACION BASICA	43
3.8 CONTROL FITOSANITARIO	43
3.8.1 Control de enfermedades	43
3.8.2 Control de plagas	43
3.8.3 Control de malezas	44
3.9 VARIABLES DE RESPUESTA	44
3.9.1 Contenido de boro en los peciolo	44

3.9.2 Rendimiento agronómico	44
3.9.3 Calidad comercial	44
3.9.4 Densidad del tubérculo	45
3.9.5 Contenido de materia seca en el tubérculo	45
3.9.6 Contenido de proteína en el tubérculo	45
3.9.7 Contenido de Azúcares reductores en el tubérculo	45
3.9.8 Evaluación económica	45
4. RESULTADOS Y DISCUSION	48
4.1 CONTENIDO DE BORO EN LOS PECIOLOS	48
4.2 RENDIMIENTO TOTAL	49
4.2.1 Efecto de las dosis	50
4.2.2 Efecto de las fuentes	51
4.2.3 Interacción entre dosis y fuente	52
4.3 RENDIMIENTO EXTRA	53
4.3.1 Efecto de las dosis	53
4.3.2 Efecto de las fuentes	54
4.3.3 Interacción entre dosis y fuente	54
4.4 RENDIMIENTO PRIMERA	56
4.4.1 Efecto de las dosis	56
4.4.2 Efecto de las fuentes	56
4.4.3 Interacción entre dosis y fuente	57

4.5 RENDIMIENTO SEGUNDA	58
4.5.1 Efecto de las dosis	58
4.5.2 Efecto de las fuentes	59
4.5.3 Interacción entre dosis y fuente	59
4,6 RENDIMIENTO TERCERA	50
4.7 DENSIDAD	61
4.8 MATERIA SECA	62
4.8.1 Efecto de las dosis	62
4.8.2 Efecto de las fuentes	63
4,8.3 Interacción entre dosis y fuentes	64
4.9 PROTEINA	65
4,9.1 Efecto de las dosis	65
4.9.2 Efecto de las fuentes	67
4.9.3 Interacción fuente por dosis	67
4.10 AZUCARES REDUCTORES	68
4.11 ANALISIS ECONOMICO	70
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	72
RESUMEN	75
BIBLIOGRAFIA	
ANEXOS	

LISTA DE TABLAS

- TABLA 1.** Fuentes comunes de boro
- TABLA 2.** Descripción de los tratamientos
- TABLA 3.** Efecto de la aplicación de fuentes y dosis de Boro en el rendimiento de la papa criolla
- TABLA 4.** Contenidos de azúcares reductores en tubérculos de papa criolla
- Tabla 5.** Análisis de la relación Beneficio/Costo

LISTA DE FIGURAS

- FIGURA 1.** Contenido de Boro foliar en peciolo de papa criolla, evaluando fuentes y dosis de Boro en aplicación de edáfica.
- FIGURA 2.** Efecto de las dosis sobre el rendimiento total del tubérculo de papa criolla.
- FIGURA 3.** Interacción entre fuentes y dosis de boro sobre el rendimiento total de papa criolla.
- FIGURA 4.** Efecto de las dosis de Boro en el rendimiento de tubérculos de tamaño extra de papa criolla.
- FIGURA 5.** Interacción entre fuentes y dosis de Boro sobre el rendimiento extra de tubérculos de papa criolla.
- FIGURA 6.** Efecto de las dosis de Boro en el rendimiento de tubérculos de tamaño primera de papa criolla.
- FIGURA 7.** Interacción entre fuentes y dosis de Boro sobre el rendimiento primera de tubérculos de papa criolla.
- FIGURA 8.** Efecto de las dosis de Boro en el rendimiento de tubérculos de tamaño segunda de papa criolla.

FIGURA 9. Interacción entre fuentes y dosis de Boro sobre el rendimiento segunda de tubérculos de papa criolla.

FIGURA 10 Respuesta de la aplicación de fuentes y dosis de Boro sobre la producción de papa criolla categoría tercera.

FIGURA 11 Efecto de las dosis sobre la concentración de materia seca del tubérculo de papa criolla.

FIGURA 12. Interacción entre fuentes y dosis de boro sobre el contenido de materia seca del tubérculo de papa criolla.

FIGURA 13 Efecto de las dosis sobre la concentración de proteína del tubérculo de papa criolla.

FIGURA 14. Interacción entre fuentes y dosis de boro sobre el contenido de proteína del tubérculo de papa criolla.

ANEXOS

- ANEXO 1. Análisis de suelos.**
- ANEXO 2. Descripción de los perfiles del suelo.**
- ANEXO 3. Valores mensuales de precipitación**
- ANEXO 4. Distribución de las parcelas en el campo.**
- ANEXO 5. Análisis de varianza variable rendimiento total.**
- ANEXO 6. Efecto de las dosis sobre el rendimiento total.**
- ANEXO 7. Efecto de las fuentes sobre el rendimiento total.**
- ANEXO 8. Efecto de la interacción fuente - dosis sobre el rendimiento total.**
- ANEXO 8A. Contrastes ortogonales variable rendimiento total.**
- ANEXO 9. Análisis de varianza variable rendimiento extra.**
- ANEXO 10. Efecto de las dosis sobre el rendimiento extra.**
- ANEXO 11. Efecto de las fuentes sobre el rendimiento extra.**
- ANEXO 12. Efecto de la interacción fuente - dosis sobre el rendimiento extra**
- ANEXO 13. Análisis de varianza variable rendimiento primera.**
- ANEXO 14. Efecto de las dosis sobre el rendimiento primera.**
- ANEXO 15. Efecto de las fuentes sobre el rendimiento primera.**
- ANEXO 16. Interacción fuente - dosis sobre el rendimiento primera.**

- ANEXO 17. Análisis de varianza variable rendimiento segunda.
- ANEXO 18. Efecto de las dosis sobre el rendimiento segunda.
- ANEXO 19. Efecto de las fuentes sobre el rendimiento segunda.
- ANEXO 20. Interacción fuente - dosis sobre el rendimiento segunda.
- ANEXO 21. Análisis de varianza variable rendimiento tercera.
- ANEXO 22. Efecto de las dosis sobre el rendimiento tercera.
- ANEXO 23. Efecto de las fuentes sobre el rendimiento tercera.
- ANEXO 24. Interacción fuente - dosis sobre el rendimiento tercera.
- ANEXO 25. Análisis de varianza variable densidad específica.
- ANEXO 26. Efecto de las dosis sobre la densidad específica.
- ANEXO 27. Efecto de las fuentes sobre la densidad específica.
- ANEXO 28. Interacción fuente - dosis sobre la densidad específica.
- ANEXO 29. Análisis de varianza variable materia seca.
- ANEXO 30. Efecto de las dosis sobre el contenido de materia seca.
- ANEXO 31. Efecto de las fuentes sobre el contenido de materia seca.
- ANEXO 32. interacción fuente - dosis sobre el contenido de materia seca.
- ANEXO 32A. Contrastes ortogonales variable materia seca.
- ANEXO 33. Análisis de varianza variable proteína.
- ANEXO 34. Efecto de las dosis sobre el contenido de proteína.
- ANEXO 35. Efecto de las fuentes sobre el contenido de proteína.
- ANEXO 36. Interacción fuente - dosis sobre el contenido de proteína.

INTRODUCCION

La papa es un cultivo de gran importancia socioeconómica en las zonas frías de los departamentos de Cundinamarca y Boyacá, considerados como los más productores en el país, con cerca del 60% del volumen total de producción.

Las plantas necesitan cantidades pequeñas de ciertos nutrientes llamados "microelementos o micronutrientes" para un desarrollo más eficiente. Entre estos se encuentra el Boro y su deficiencia o exceso puede ocasionarle a la planta problemas morfológicos y fisiológicos, afectando el rendimiento y la calidad de la producción.

De los elementos secundarios y micronutrientes es escasa la investigación realizada a nivel nacional. El costo de estos fertilizantes continúa sin una compensación en el precio del producto, lo cual hace necesario que se busquen alternativas tecnológicas para reducir los costos, aumentar la producción y lograr de este modo mejorar la rentabilidad del cultivo.

El contenido total de Boro en los suelos está en el rango de 2 a 200 ppm; sin embargo la mayoría del Boro del suelo no está disponible para las plantas. Un aspecto común de deficiencia de este elemento es el disturbio en el desarrollo de los tejidos meristemáticos, tanto en la parte radical como en la parte aérea de la planta. Por lo anterior, cabe señalar que un suministro adecuado de Boro es requerido para el mantenimiento de la actividad meristemática y síntesis de carbohidratos.

Dentro de las funciones del Boro en el metabolismo de las plantas se destacan: síntesis de proteínas, división celular y síntesis de carbohidratos. Actúa también en la polinización, germinación de la semilla y en la formación de raíces.

Considerando la importancia del Boro en el cultivo de papa, se ha propuesto la realización del presente trabajo cuyos objetivos fueron:

General

Evaluar el efecto de tres fuentes y cuatro dosis de Boro en el rendimiento y calidad de la papa criolla *Solanum phureja* Juz et. Buk variedad "yema de huevo" en un suelo deficiente en Boro de Cundinamarca.

Específicos.

- Establecer la dosis y fuente de Boro más adecuada técnica y económicamente para la producción de papa criolla bajo las condiciones del presente estudio.
- Determinar el efecto de la aplicación de Boro al suelo en el rendimiento y algunos parámetros de calidad como: tamaño de tubérculos (extra, primera, segunda y tercera), densidad, proteína, azúcares reductores, cenizas y materia seca.
- Analizar la relación Beneficio - Costo de la fertilización edáfica complementaria con tres fuentes y cuatro dosis de Boro.

2. REVISION DE LITERATURA

2.1 CLASIFICACION TAXONOMICA

Según D'Arcy citado por López (1993), la papa criolla se clasifica dentro de las siguientes categorías:

División	:	Angiospermae
Clase	:	Dicotiledoneae
Subclase	:	Metaclamidea
Orden	:	Tubiflorae
Familia	:	Solanaceae
Subfamilia	:	Solanoideae
Tribu	:	Solaneae
Género	:	Solanum
Especie	:	<i>Solanum phureja</i> Juz et. Buk

2.2 HISTORIA

Solanum phureja Juz et. Buk es una especie cultivada de papa, que se distribuye geográficamente desde el norte de Bolivia hasta el suroccidente venezolano, con un centro de diversidad genética al sur de Colombia en el departamento de Nariño.

Aunque se conocen diversos morfotipos de esta especie, solo los que forman tubérculos amarillos y redondeados conocidos como “papa criolla” y más específicamente “yema de huevo”, son los que se comercializan ampliamente en el país. (Carrasco y Pineda, 1993)

2.3 CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS

- **Planta:** Tallos delgados, color verde claro, ramificados, porte bajo. Foliolos primarios pequeños verde claro, rugosos. Multivariedad con flores abundantes de color lila y blancas. Fructificación mediana.

- **Tubérculos:** Tamaño pequeño, forma redonda. Ojos de profundidad media. Piel incolora. Pulpa amarilla.

2.4 CARACTERISTICAS AGRONOMICAS

- Adaptación: 2600 – 2800 m.s.n.m.
- Periodo vegetativo: Cuatro meses
- Rendimiento comercial promedio: 15 toneladas por hectárea
- Materia seca: 22.3 %
- Peso específico: 1.090 gr/cc
- Porcentaje de azúcares reductores: 0.1 %
- Periodo de reposo del tubérculo destinado para semilla: carece de periodo de reposo, presenta brotes antes de la maduración
- Enfermedades: Susceptible a Gota de la papa (*Phytophthora infestans*)

2.5 FERTILIZACION EN EL CULTIVO DE LA PAPA

La literatura reporta diferentes valores de extracción de nutrimentos dependiendo tanto de la variedad como de las condiciones de fertilidad del suelo y de las condiciones climáticas en que se desarrolle el cultivo. Es por esto que en las zonas de páramo ubicadas por encima de los 3000 m.s.n.m. donde se presentan bajas temperaturas y la luminosidad es deficiente por la nubosidad frecuente, la extracción de nutrientes tiende a disminuir. Según Guerrero (1988), los valores de extracción dependen de los diferentes factores que intervienen en la producción destacándose la parte genética y

la producción obtenida, siendo mayor la extracción de nutrimentos del suelo a mayores rendimientos y en consecuencia la recomendación de fertilizantes se debe incrementar a medida que estos aumenten.

La extracción de algunos nutrientes en el cultivo de papa criolla es de 60 Kg de Nitrógeno/ha, 65 kg de P_2O_5 /ha y de 90 a 120 Kg de K_2O /ha debiéndose tener en cuenta para los requerimientos del fertilizantes (Estrada 1994, citado por García y Mejía, 1998).

Se recomienda aplicar el fertilizante localizado en banda debajo de la semilla o en corona alrededor de la misma. La época más adecuada de fertilización es al momento de la siembra, debido al ciclo corto del cultivo (Lora, 1980; Munevar *et al*, 1977).

2.6 MICROELEMENTOS EN EL CULTIVO DE LA PAPA

Los cultivos necesitan los microelementos en cantidades muy pequeñas (gramos por hectárea), por lo general, pero estos pocos gramos pueden representar la diferencia entre la obtención de altos rendimientos y el fracaso completo de la cosecha. Las deficiencias de microelementos provocan síntomas característicos en las plántulas, pero puede ser

demasiado tarde para adoptar las medidas correctivas después que estos han aparecido, puesto que el daño ya estará hecho (Barrera, 1998).

La aplicación del microelemento necesario en esta etapa no compensará plenamente la deficiencia anterior y el rendimiento se verá afectado, por lo tanto es aconsejable determinar si el suelo donde se va a sembrarse el cultivo posee microelementos disponibles, en cantidades suficientes para garantizar el crecimiento y desarrollo adecuados, o si presenta deficiencia de uno o mas de ellos, para así adoptar las medidas correctivas que sean necesarias (Barrera, 1998).

Respecto a la fertilización con microelementos han sido pocos los ensayos que se han realizado aunque se le ha dado particular importancia al Boro y su efecto en el cultivo de la papa (*Solanum tuberosum*). Lora (1978) reporta incrementos apreciables de los rendimientos a las aplicaciones de Boro tanto edáfico como foliar en la variedad ICA Guantiva en un Andepts del occidente de la Sabana de Bogotá, caracterizados por su alto contenido de materia orgánica, influencia de cenizas volcánicas y contenidos de Boro en el suelo menores de 0.5 ppm (método de agua caliente), considerados como bajos para el desarrollo del cultivo de papa.

Gómez y Leguizamon (1975), indican que el Boro es uno de los microelementos más importantes para las plantas, su deficiencia en los cultivos pueden causar pérdida significativa en las cosechas debido a los bajos rendimientos y/o a la mala calidad de los productos cosechados.

2.6.1 El boro en el suelo: El Boro es el único elemento no metálico de los seis micronutrientes esenciales; tiene una valencia constante de $+3$ y el de más pequeño radio iónico. Predomina en las rocas sedimentarias, en las rocas ígneas es mas abundante en los granitos bajo la forma de borosilicatos, siendo la turmalina (3 a 4% de B) el mineral más común. Se encuentra en el suelo en cuatro estados: a) Formando parte de la estructura cristalina de los minerales; b) adsorbido o retenido por los coloides del suelo; c) como anión en la solución del suelo y d) asociado a la materia orgánica (Garcia *et al*, 1998).

El contenido total de Boro en los suelos varía de 2 a 200 ppm, del cual la mayor parte no es asimilable por la planta. Se puede considerar que el Boro disponible en los suelos pertenece a un ciclo, donde una pequeña cantidad proviene de la turmalina y una gran parte de la materia orgánica. La materia orgánica es descompuesta por los microorganismos y libera el Boro disponible a la solución del suelo donde es absorbido por las plantas; una

parte puede ser lavada por el agua de infiltración y una pequeña parte puede ser fijada o retenida por las arcillas (Garcia *et al*, 1998).

2.6.2 Adsorción de Boro: El Boro se encuentra en la solución del suelo bajo la forma no disociada de ácido bórico (H_3BO_3) o como anión boratado $B(OH)_4$. El H_3BO_3 es una forma muy dominante; esto se debe a que el Boro está presente en la forma ionizada y es la razón por la que puede ser fácilmente lavado en los suelos (Loué, 1988 citado por Garcia *et al*, 1998).

Los principales lugares de adsorción del Boro son los siguientes: a) los óxidos e hidróxidos de Fe y Al; b) los minerales arcillosos (micas) y c) los hidróxidos de magnesio. En general las arcillas de tipo mica y en particular la vermiculita adsorben más el Boro seguidas en orden decreciente por la caolinita y montmorillonita (Hington, 1964 citado por Garcia *et al*, 1998).

2.6.3 Factores que afectan la disponibilidad de Boro para las plantas.

- ◆ **Materia orgánica:** La materia orgánica es la fuente de Boro más importante en el suelo. En climas cálidos y secos, la descomposición de la materia orgánica en la parte superior del perfil del suelo es lenta. Esto puede llevar a una deficiencia de Boro. A temperaturas bajas, la

descomposición de la materia orgánica se hace lenta, y se liberan bajas cantidades de Boro, afectando a muchos cultivos de clima frío.

- ◆ **Condiciones climáticas:** El clima seco restringe la actividad de las raíces en el suelo y esto puede causar una deficiencia temporal de Boro. Los síntomas tienden a desaparecer inmediatamente después de que el suelo recibe un poco de humedad. El crecimiento de las raíces puede continuar, pero el potencial de producción del cultivo a menudo es menor que el normal.
- ◆ **pH del suelo:** El Boro está disponible para la planta en un rango de pH entre 5.0 y 7.0. A valores de pH más altos la absorción de Boro se por parte de las plantas se reduce reduce.

El encalar suelos ácidos puede reducir la disponibilidad de Boro y aumentar la respuesta de los fertilizantes que contienen este nutriente.

- ◆ **Textura del suelo:** los suelos de textura gruesa (arenosos), compuestos principalmente por cuarzo, tienen una baja cantidad de minerales que contienen Boro. Las plantas que crecen en esos suelos comúnmente presentan deficiencias de Boro.

- ◆ **Materiales amorfos:** El Boro puede ser fijado en el suelo por la presencia de materiales amorfos como alofano y óxidos e hidróxidos de hierro y aluminio

- ◆ **Lixiviación:** El Boro es móvil en el suelo y está sujeto a lixiviación, principalmente en suelos arenosos y/o en las áreas de abundante precipitación.

2.6.4 Nivel crítico de Boro en suelos: Los niveles críticos de Boro (extraídos con agua caliente) no se pueden aplicar universalmente, ya que dependen del tipo de suelo y de los cultivos. En varios países se considera que 1 ppm de Boro es un nivel crítico bajo el cual los suelos no suministran suficientemente este elemento para el normal crecimiento de las plantas. Puede esperarse deficiencias de Boro cuando los suelos arcillosos contienen menos de 0.8 ppm, los de textura mediana menos de 0.5 ppm y los suelos arenosos menos de 0.3 ppm. Los niveles críticos de Boro en el suelo, se han determinado a través de investigaciones realizadas en condiciones de invernadero y laboratorio. Para el cultivo de la papa se han encontrado niveles críticos (ppm) mediante el método de extracción con agua caliente, dichos niveles son : < 0.6 ppm niveles bajos de Boro, 0.6 - 0.8 ppm niveles medios de boro y > 0.8 ppm niveles altos de Boro (Lora 1981, citado por Garcia 1998).

2.6.5 Funciones fisiológicas del Boro en las plantas: El Boro está estrechamente relacionado con la actividad de los meristemos; cuando no hay suministro de Boro en el meristemo apical la división celular no es normal. La síntesis de ARN, la formación de ribosomas y la síntesis de proteínas son procesos fundamentales en los tejidos meristemáticos. En caso de deficiencia de Boro todo el proceso meristemático se ve afectado (Mengel y Kirkby 1982, citado por Garcia *et al* 1998).

El Boro desempeña un papel importante en la regulación del metabolismo de los carbohidratos. Es necesario para la degradación de los glucósidos a glúcidos. Un suministro adecuado de Boro es necesario para que se cumplan los procesos de floración y fructificación, la germinación del grano de polen, la división celular, el metabolismo del nitrógeno, de los carbohidratos y de las sustancias pépticas, la absorción de agua por el protoplasma y la absorción de minerales, pero la función principal es la de ayudar al movimiento de las moléculas altamente polares de azúcar a través de la pared celular.

2.6.6 Síntomas de deficiencia de Boro: Un aspecto común de la deficiencia de Boro es el disturbio en el desarrollo de los tejidos meristemáticos, tanto en las puntas de las raíces, como en las partes apicales de los tallos o en los tejidos de cambio, Mengel y Kirkby (1987)

citado por Barrera (1998). Por lo anterior un suministro adecuado de Boro es requerido para el mantenimiento de la actividad meristemática. En el caso de deficiencia de Boro en la planta de papa, el punto de crecimiento muere y las yemas laterales se vuelven activas, los entrenudos se acortan, las hojas se engrosan y enrollan hacia arriba en forma similar al enrollamiento viral. La planta toma apariencia arbustiva, con una pronunciada acumulación de almidón en las hojas, las raíces se acortan y engruesan, los tubérculos son más pequeños, presentan la superficie agrietada,

particularmente en el extremo que va unido al estolón, presenta áreas castañas localizadas debajo de la epidermis, cerca del estolón, o una coloración castaña en el anillo vascular (Hooker citado por Barrera, 1998).

2.6.7 Síntomas de toxicidad de Boro: El Boro es poco móvil en las plantas y se sugiere que puede ser transportado pasivamente en la corriente transpiratoria a través del xilema y luego fijado en los márgenes de las hojas. Esto explica por qué en casos de toxicidad de Boro, las puntas y márgenes de las hojas se necrosan primero (Vaughan, 1977 citado por Garcia, 1998).

3.6.8 Fuentes comunes de Boro: Los fertilizantes simples y los fertilizantes mayores NPK, con adiciones boratadas pueden suministrar Boro

a las plantas. Sin embargo existen productos simples boratados como los que aparecen en la Tabla 1.

Tabla 1. Fuentes comunes de Boro*

Fuente	Pocentaje de B.	Solubilidad en agua
Bórax	11	SI
Pentaborato de sodio	18	SI
Tetraborato de sodio		
◆ Borato 48	14	SI
◆ Borato 65	20	SI
Acido bórico	17	SI
Colemanita	10	BAJA
Solubor	20	SI
Superfosfato simple boratado	0.18	SI

* Mengel y Kirkby (1987)

Los boratos de sodio constituyen las fuentes clásicas de Boro. Son utilizados solamente en aplicación al suelo, pero el solubor puede utilizarse también en aplicaciones foliares a causa de su alta solubilidad y de su compatibilidad con la mayor parte de los agroquímicos.

2.6.9 Formas de aplicación del Boro: Las aplicaciones foliares son recomendadas especialmente para plantas perennes, arboricultura y viticultura, siendo el solubor y el ácido bórico los productos más utilizados. Las aplicaciones foliares en estado vegetativo permiten una mayor absorción

de Boro que las realizadas en periodos de desarrollo de la planta más avanzados. Para los cultivos anuales y semestrales, las aspersiones foliares se utilizan para corregir las deficiencias aparecidas al comienzo del crecimiento y deben repetirse un cierto número de veces en el transcurso del desarrollo a causa de la baja movilidad del Boro en la planta (Murphy y Walsh, 1972 citado por Garcia *et al*, 1998).

Las aplicaciones de Boro al suelo son más eficientes en banda que al voleo, porque en banda se produce una mayor absorción de Boro por las plantas; por ejemplo, 1.12 kg Boro/ha en banda son más eficaces que 2.24 kg Boro/ha al voleo (Gupta, 1978 citado por García *et al*, 1998).

2.6.10 Dosis de Boro: La dosis óptima de Boro aplicadas al suelo dependen de la especie, de las prácticas de los cultivos, de las lluvias, el encalado y la materia orgánica del suelo. Las dosis están igualmente limitadas por el margen estrecho que existe entre la deficiencia y la toxicidad. Es necesario tener en cuenta las exigencias de las especies en relación con la deficiencia y su sensibilidad en relación con la toxicidad. La dosis aplicada varía de 0.3 a 3 kg de Boro/ha (0.3 kg de B/ha para cultivos sensibles a los excesos como el frijón y hasta 3 kg de B/ha para los cultivos tolerantes y exigentes como alfalfa, colinabo y remolacha). La mayor parte de los resultados experimentales demuestran que una dosis de 1.2 a 3.2 kg

de Boro/ha es necesaria en tratamientos al suelo para leguminosas y ciertas plantas raíces (García *et al*, 1998).

2.7 CARACTERISTICAS DE LA PAPA CRIOLLA PARA INDUSTRIA

La papa criolla se ha venido utilizando para el consumo en fresco; sin embargo en los últimos años se ha incrementado el procesamiento industrial del tubérculo para la obtención de la papa precocida y congelada, ya que es una alternativa de procesamiento que prolonga su vida útil y conserva las características organolépticas del producto fresco.

Los productos procesados de papa deben tener un color atractivo y aceptable, textura deseable, buen sabor y una duración comercial relativamente larga. Las prácticas culturales y las condiciones ambientales que prevalecen durante el periodo de crecimiento afectan marcadamente la calidad para el procesamiento (Hernandez, 1992).

La importancia de la materia seca y los niveles de azúcares reductores, como determinantes en la calidad industrial, esta establecida, pero todavía no ha sido posible producir una calidad consistente, a causa de variaciones generadas por factores ambientales y culturales.

2.7.1 Materia seca: El contenido de materia seca representa aproximadamente el 20% del peso total del tubérculo. Es una característica importante tomada en cuenta por los procesadores antes de comprar el producto, ya que influyen en el rendimiento. Los valores óptimos de esta característica están por encima de 20%.

La materia seca varía considerablemente entre variedades, genéticamente está controlada y presenta alta heredabilidad; sin embargo no hay un valor constante de materia seca para una variedad, ya que está afectada por condiciones de madurez, clima, suelo y prácticas de manejo. Los cultivos que maduran temprano tienen un contenido de materia seca mas bajo que los cultivos tardíos. Además, el clima frío seco, con alta radiación, favorece un alto contenido de materia seca, mientras que el clima frío húmedo tiende a reducirla (Castro, 1998).

De otra parte, se presentan diferencias en el contenido de materia seca entre tubérculos de papa y dentro de un solo tubérculo. Las diferencias entre tubérculos son encontradas no solo entre cultivos y lotes de orígenes diferentes (diferencia de clima, suelo y aplicaciones de abono), sino también entre tubérculos de una misma planta (Pineda, 1995).

El contenido de materia seca en tubérculos grandes es usualmente mas bajo que el de tubérculos pequeños, ya que los últimos contienen menos agua en el tejido medular. Existen diferencias en el contenido de materia seca dentro del tubérculo, tanto desde afuera como en el interior, en tejidos diferentes, aumentando desde afuera hacia adentro. Esta heterogeneidad es más evidente en términos de composición química.

Los carbohidratos de la materia seca de papa incluyen almidones, azúcares, celulosa y pectinas. Todos estos compuestos son polímeros derivados de un azúcar simple que es la glucosa. Los almidones representan entre el 60 y el 80% de la materia seca. Los azúcares son principalmente sacarosa, glucosa y fructosa, con pequeñas cantidades de otros azúcares. La celulosa comprende cerca del 2% de materia seca. Las pectinas constituyen cerca del 2% de materia seca y son ampliamente responsables de la textura (Hernandez, 1992).

El rendimiento del producto seco con base a peso fresco, varía ampliamente debido a diferencias varietales. Se han reportado rendimientos desde 10.9 hasta 27.69% de materia seca.

2.7.2 Azúcares reductores: El contenido de azúcares reductores (glucosa y fructosa) en papa, parece ser el mayor factor para estimular los atributos de calidad interna para procesamiento. Estos deben ser inferiores a 0.25% o, preferiblemente estar por debajo de 0.1% al momento de su proceso.

Los tubérculos de papa contienen principalmente sacarosa, glucosa, fructosa y pequeñas cantidades de otros azúcares; la sacarosa es un azúcar no reductor y no afecta el proceso de calidad. Los niveles de azúcares reductores (glucosa y fructosa) son los de mayor importancia. Durante el procesamiento estos azúcares pueden reaccionar con ciertos aminoácidos libres para dar un color marrón y un sabor amargo (Hernandez, 1992)

2.8 ESTUDIOS REALIZADOS EN COLOMBIA

En Colombia son pocas las investigaciones realizadas con el Boro en el cultivo de la papa (*S. tuberosum*). Lora (1978), reporta un nivel crítico para Boro disponible en el rango de 0.6 a 0.8 ppm, por el método de agua caliente. En trabajos de campo de la variedad ICA – “Guantiva”, se encontró altas respuestas en suelos con contenidos de Boro menores a 7 ppm. Posteriormente en investigaciones realizadas por Abella y Gerenas (1984),

en un andisol del páramo, indicaron alta respuesta en las variedades San Jorge, Pastusa y Monserrate.

Según Barrera (1998), en investigaciones realizadas en el Instituto Colombiano Agropecuario, con la variedad Parda Pastusa en varias localidades de Cundinamarca y Boyacá, encontraron altas respuestas a las aplicaciones de Boro, tanto en aplicación al suelo como al follaje. La fertilización con Boro aumentó el desarrollo vegetativo de las plantas desde su emergencia, lo cual se reflejó en un mejor desarrollo vegetativo total, además se encontró que las parcelas bien abastecidas con Boro al suelo presentaron un follaje elástico y resistente a la quebradura de tallos. De estas investigaciones se concluyó que el desarrollo foliar del cultivo de la papa variedad Parda Pastusa es favorecido ampliamente por aplicaciones radicales o foliares de Boro. Este efecto incidió significativamente en el incremento de los rendimientos, los cuales fueron muy rentables para el agricultor.

García (1998), en suelos erosionados de Nariño encontró incrementos hasta de 383% en las producciones de cebada, por efecto de la fertilización con 2 Kg de Boro/ha, en suelos con contenidos inferiores a 0.25 ppm de dicho elemento, debido al aumento de macollas por unidad de superficie y por el mayor llenado del grano, ya que el Boro es esencial en el crecimiento del

tubo polínico, en la germinación del polen y en la traslocación de los carbohidratos.

La investigación sobre aplicación de elementos menores en Caña panelera es relativamente escasa. Sin embargo, cuando en los suelos el contenido de Boro disponible, valorado con agua caliente, está entre 0.15 y 0.27 ppm la respuesta a dosis de 10 kg de bórax comercial por hectárea (10.3% de B_2O_3) es apreciable. Con esta dosis se logra un incremento de 209 kg de panela por cada kilogramo de bórax aplicado, lo cual económicamente es aceptable (Rodríguez, 1995).

3. METODOLOGIA DE TRABAJO

3.1 LOCALIZACION GEOGRAFICA

El ensayo se realizó en el primer semestre de 1999, en la finca Arizona, localizada en la vereda Alto de Mesa, municipio de Carmen de Carupa, departamento de Cundinamarca, con una altura de 2950 m.s.n.m. y temperatura promedio de 12 grados centígrados.

3.2 CARACTERISTICAS DEL SUELO

Las características físico-químicas del suelo utilizado para el ensayo se presentan en el Anexo N.1.

Es un suelo ácido con moderados contenidos de potasio y materia orgánica. Su pH favorece la disponibilidad de micronutrientes por ello se debe mantener sus concentraciones, con especial atención la de manganeso ya que se encuentra en el límite de su nivel crítico tendiente a causar toxicidad. Baja disponibilidad de Boro para el normal desarrollo de los cultivos.

La alta capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICE) indica el gran número de cargas negativas aportadas al suelo por sustitución isomórfica, fácilmente neutralizables, teniendo en cuenta que son cargas permanentes, por ello la alta saturación de bases a partir de la CICE. No presenta problema alguno de salinidad.

3.3 CARACTERIZACION PEDOLOGICA Y MANEJO

La descripción de los perfiles del suelo se presentan en el Anexo N.2. El análisis corresponde a un suelo de ladera, cuya evolución es dominada por arcillolitas y esquistos arcillosos con intercalaciones de cenizas volcánicas como fuente de alófana dentro de un régimen edáfico de humedad, údico.

El horizonte superficial, intervenido por el hombre para el desarrollo de prácticas agropecuarias, corresponde a un epipedón ocrico, que se desarrolla sobre un endopedón cámbico, integrando el suelo clasificado como *Typic Dystrudept*. En general este suelo presenta una baja capacidad estructural en sus primeros horizontes, buena retención de humedad, moderada profundidad efectiva y alta permeabilidad que previenen un impacto erosivo visible, favoreciendo el desarrollo de una explotación agrícola racional y eficiente.

3.4 DISEÑO EXPERIMENTAL

Se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar (BCA) con 13 tratamientos y 3 repeticiones, para un total de 39 unidades experimentales, descritos en la Tabla 2. Los tratamientos se evaluaron mediante un análisis de varianza y los promedios se compararon mediante la prueba de Duncan a un nivel de significancia del 5%

Las fuentes empleadas fueron: Borato (15% de Boro), Bórax (11% de Boro) y Solubor (20.5% de Boro). Las dosis fueron 0.5, 1.0 , 1.5 y 2.0 kg de Boro por hectárea para cada fuente. En la tabla 2 se presentan los tratamiento empleados en la investigación.

3.5 UNIDAD EXPERIMENTAL

Se manejaron unidades experimentales con área efectiva de 15 m², con las siguientes dimensiones: 5 metros de largo por 3 metros de ancho. Los surcos se trazaron a lo largo de los 5 m. separados entre si por 1m, obteniéndose 4 surcos por unidad experimental.

Tabla 2. Descripción de los tratamientos.

TRATAMIENTOS	FUENTES	DOSIS DE B / ha.
T1	TESTIGO	0 kg.
T2	BORATO	0.5 kg.
T3	BORATO	1.0 kg.
T4	BORATO	1.5 kg.
T5	BORATO	2.0 kg.
T6	BORAX	0.5 kg.
T7	BORAX	1.0 kg.
T8	BORAX	1.5 kg.
T9	BORAX	2.0 kg.
T10	SOLUBOR	0.5 kg.
T11	SOLUBOR	1.0 kg.
T12	SOLUBOR	1.5 kg.
T13	SOLUBOR	2.0 kg.

3.6 METODOS DE CAMPO

- **Preparación del terreno:** El lote donde se realizó el ensayo se preparó con 2 pases de rastrillo y un pase con arado de cincel rígido.
- **Siembra:** Se utilizaron distancias de siembra de 0.33 m. entre plantas y 1 m. entre surcos, para un total de 30303 plantas/ha y 60 plantas/parcela.

3.7 FERTILIZACION BASICA

Con base en el análisis de suelos presentado en el Anexo N. 1, se realizó el plan de fertilización para elementos mayores con 1000 kg/ha de fertilizante compuesto 13 – 26 – 6, aplicado al suelo en banda al momento de la siembra.

Adicionalmente se realizaron tres aspersiones foliares de soluciones líquidas de quelatos de hierro y cobre al 0.25% y soluciones de sulfato de magnesio al 0.5% a los 15-30-45 días después de la emergencia.

3.8 CONTROL FITOSANITARIO

3.8.1 Control de enfermedades: Durante el periodo vegetativo del cultivo se observó la presencia de *Phytophthora infestans* (gota), para su control se utilizó el producto cymoxanil en dosis de 200 gr de p.c./200 litros de agua rotado con fosetil de aluminio en dosis 200 gr de p.c./200 litros de agua y metalaxil en dosis de 600 gr de p.c./200 litros de agua.

3.8.2 Control de plagas: se determinó la presencia de *Epitrix* sp (pulguilla), para su control se realizaron aspersiones foliares con clorpirifos en dosis de 200 c.c.de p.c./200 litros de agua.

3.8.3 Control de malezas: Para su control se realizó una desyerba a los 40 días después de la siembra.

3.9 VARIABLES DE RESPUESTA

3.9.1 Contenido de Boro en los peciolo: Se realizó el muestreo de la cuarta hoja desde el ápice de la planta en estado de prefloración, se determinó el contenido de Boro en los tejidos (ppm) siguiendo la metodología empleada por el Instituto Colombiano Agropecuario I.C.A. (1993)

3.9.2 Rendimiento agronómico: se cosecharon los dos surcos centrales de cada unidad experimental y se determinó la producción total, que posteriormente se expresó como rendimiento en toneladas/ha.

3.9.3 Calidad comercial: Se tomó 1 kg de papa al azar de los surcos centrales de cada unidad experimental y se clasificaron por tamaño extra, primera, segunda y tercera, de acuerdo con los parámetros que tiene en cuenta FEDEPAPA (1994).

- Extra:** *Diámetro mayor de 5.0 cm o 50 gr de peso.*
- Primera:** 3.5 – 5.0 cm de diámetro o 35 – 50 gr de peso.
- Segunda:** 2.0 – 3.5 cm de diámetro o 20 – 35 gr de peso
- Tercera:** Diámetro menor a 2.0 cm o peso menor a 20 gr.

3.9.4 Densidad del tubérculo: Determinado por el método de volumetría.

3.9.5 Contenido de materia seca en el tubérculo: Se determinó sometiéndolo 100 gr de tubérculo fresco a 80° C en estufa, hasta lograr un peso constante.

3.9.6 Contenido de proteína en el tubérculo: Se determinó por el método de Kjeldahl en el laboratorio de nutrición animal de la U.D.C.A.

3.9.7 Contenido de azúcares reductores en el tubérculo: Determinado por el método de SHAFER - SOMOGY I, en el laboratorio de Control de Calidad de Alimentos de la Universidad Jorge Tadeo Lozano.

3.9.8 Evaluación económica: Se determinó el análisis incremental de las prácticas que se llevaron a cabo (adición de Boro a diferentes dosis y fuentes del elemento). Se entiende por análisis incremental la cuantificación

de los ingresos y costos adicionales en que se incurre con la adopción de la práctica (Infante, 1997).

Para llevar a cabo dicho análisis se llevaron registros de:

- ◆ Valor de la fuente (\$/kg de Boro)
- ◆ Dosis de aplicación según la fuente
- ◆ Costo de aplicación
- ◆ Precio final del producto en el mercado (\$/kg de papa criolla).

Para la determinación de la relación Beneficio:Costo, únicamente se tuvieron en cuenta los costos de las fuentes de Boro empleadas y a su aplicación, considerando que los demás costos de producción son constantes.

Los costos de las fuentes de microelementos por kilogramos fueron los siguientes:

BORATO (15 % de B)	:	\$1740
BORAX (11 % de B)	:	\$1930
SOLUBOR (20.5% de B)	:	\$6800

Para la fecha en que se comercializó la papa criolla el precio por kg de tubérculo se encontraba en \$320.

Para la aplicación del fertilizante se tienen cuenta los costos de la mano de obra correspondientes a 2 jornales a un valor de \$12.000 c/u

4. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1 CONTENIDO DE BORO EN LOS PECIOLOS

Los contenidos de Boro en tejido foliar de papa criolla hasta el periodo de prefloración se aprecian en la Figura 1.

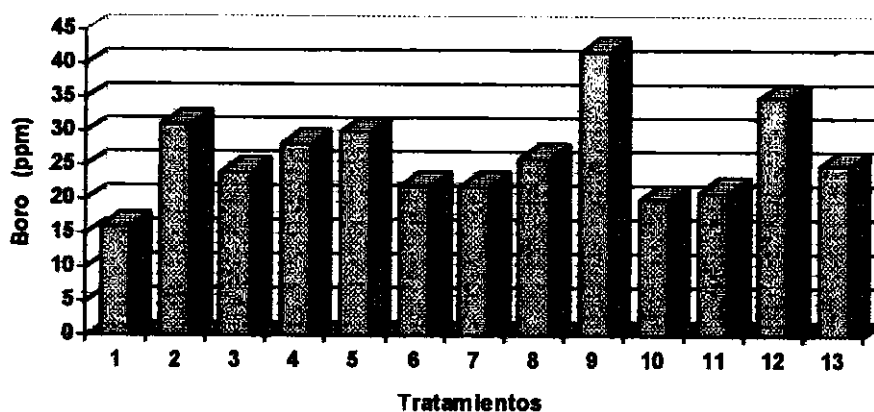


FIGURA 1. Contenido de Boro foliar en peciolo de papa criolla, evaluando fuentes y dosis de Boro en aplicación edáfica.

En términos generales se observa que el contenido de Boro en los peciolo se incrementó a medida que aumentaron la dosis del elemento en el suelo, esto debido posiblemente a la baja fijación del elemento de acuerdo a las

características del suelo, a la aplicación del elemento en forma disponible para la planta y su asimilación por parte de la misma; hay una relación directa entre la disponibilidad del nutriente en el suelo y su concentración o contenido en el tejido foliar. Sin embargo se destaca el tratamiento 9 (2 kg de B/ha) a partir de bórax como fuente de Boro con un contenido de 42 ppm de Boro en tejido foliar, el cual presenta cantidades relativamente altas, además de superar todos los tratamientos evaluados. Indicando con ello la relación directa entre la absorción del elemento en la planta y su aplicación al suelo en forma disponible.

4.2 RENDIMIENTO TOTAL

Tabla N.3. Efecto de la aplicación de fuentes y dosis de Boro en el rendimiento de papa criolla.

FUENTE DE BORO	DOSIS kg de B/ha	Rendimiento Total (Ton/ha)	Rendimiento Extra (%)	Rendimiento Primera (%)	Rendimiento Segunda (%)	Rendimiento Tercera (%)
TESTIGO	0	18.39	10.57	43.47	42.72	3.24
BORATO	0.5	20.00	12.81	49.23	34.60	3.36
BORATO	1.0	17.67	16.39	47.59	30.28	5.74
BORATO	1.5	17.00	13.85	42.77	40.77	2.61
BORATO	2.0	18.50	11.04	35.50	49.20	4.26
BORAX	0.5	21.17	13.18	46.78	36.87	3.16
BORAX	1.0	17.00	11.83	44.05	40.52	3.60
BORAX	1.5	20.17	14.71	43.53	39.71	2.04
BORAX	2.0	13.83	11.30	46.74	38.90	3.06
SOLUBOR	0.5	18.67	9.53	41.47	42.69	6.31
SOLUBOR	1.0	17.33	10.45	44.54	38.74	2.26
SOLUBOR	1.5	15.83	9.30	49.77	37.34	3.59
SOLUBOR	2.0	14.66	13.50	47.87	37.18	1.45

Como se observa en la Tabla N. 3, los resultados obtenidos indican el comportamiento de los distintos tratamientos evaluados, se analizan las diferencias encontradas entre los tratamientos para rendimiento total y cada una de las categorías de tubérculos.

Se observa claramente una respuesta que concentra la producción en tubérculos de tamaño comercial (primera y segunda), mientras que los tamaños extra y tercera son más escasos, indicando así la importancia de la adición de boro para incrementar los rendimientos en las categorías de tubérculos que se exigen para el mercado, ya sea en fresco o para el procesamiento agroindustrial.

4.2.1 Efecto de las dosis

Los rendimientos totales del tubérculo bajo la aplicación de Boro presentaron diferencias significativas con las dosis, de acuerdo con el análisis de varianza (Anexo N. 5). Además al evaluar los promedios mediante la prueba de Duncan (anexo N.6) se encontraron diferencias significativas únicamente entre la dosis baja de Boro (0.5 kg de B/ha), comparado con la dosis alta (2.0 kg de B/ha); siendo estos tratamientos quienes presentaron la mayor y menor producción respectivamente.

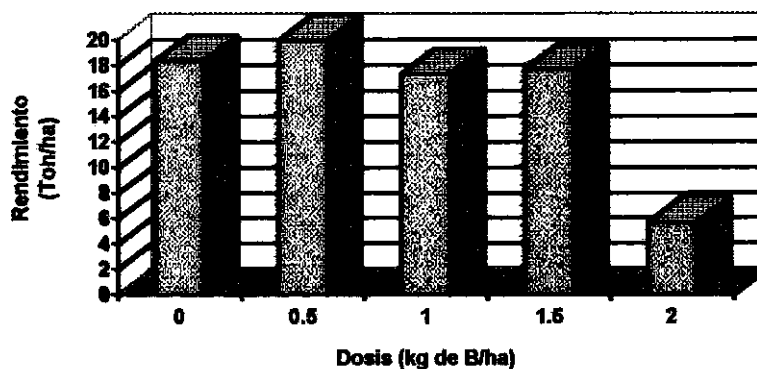


FIGURA 2. Efecto de las dosis de Boro sobre el rendimiento total de tubérculos de papa criolla.

Los mayores rendimientos promedio se consiguieron con la dosis baja de Boro (0.5 Kg de B/ha) con incrementos de 1.5 ton/ha con respecto al tratamiento testigo, lo cual es muy importante para el agricultor ya que sus ingresos se incrementan en un 8.5% (\$499.200).

Dosis entre 0.5 kg de Boro/ha hasta 1 kg de Boro/ha tienden a disminuir los rendimientos; además las dosis de Boro presentaron un comportamiento cúbico de producción (Figura 2).

4.2.2 Efecto de las fuentes

En general, no se encontraron diferencias significativas entre las diferentes fuentes de Boro aplicadas al suelo, aunque se observa una tendencia de

mayores rendimientos promedio al aplicar borato como fuente de Boro, con 18.29 toneladas de papa/ha, seguida de bórax y solubor (Anexo N.8).

4.2.3 Interacción entre dosis y fuente.

En la Figura 3 se muestra la interacción entre fuentes y dosis de Boro sobre la producción total de papa criolla.

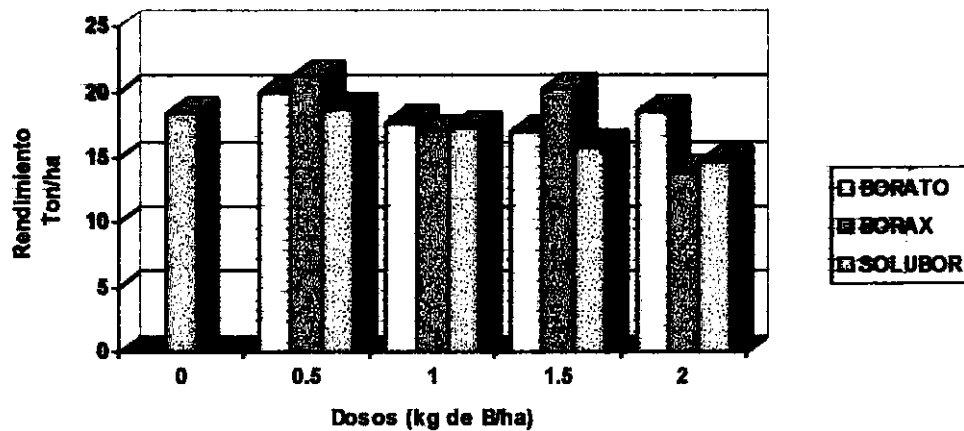


FIGURA 3. Interacción entre dosis y fuentes de Boro sobre el rendimiento total de papa criolla.

Como se observa, la respuesta positiva a la aplicación de fertilizante a base de Boro es clara, en particular cuando se aplicó bórax como fuente en la dosis de 0.5 kg de B/ha, se consiguieron incrementos cercanos a 2.7 ton de papa/ha, en comparación al tratamiento testigo (sin aplicación de Boro)

Así mismo resulta claro que con dosis superiores a 0.5 kg de B/ha, el rendimiento tiende a decaer, al igual que la respuesta a Boro, con todas las fuentes utilizadas. Por consiguiente la respuesta a la dosis de Boro se obtiene con un máximo de producción al adicionar 0.5 kg de B/ha, posiblemente debido a la baja fijación del Boro en el suelo y a las características fisico-químicas de dicho suelo.

4.3 RENDIMIENTO EXTRA

4.3.1 Efecto de las dosis

De acuerdo con el análisis estadístico no se presentaron diferencias significativas entre las dosis de Boro adicionadas al suelo (Anexo N.9).

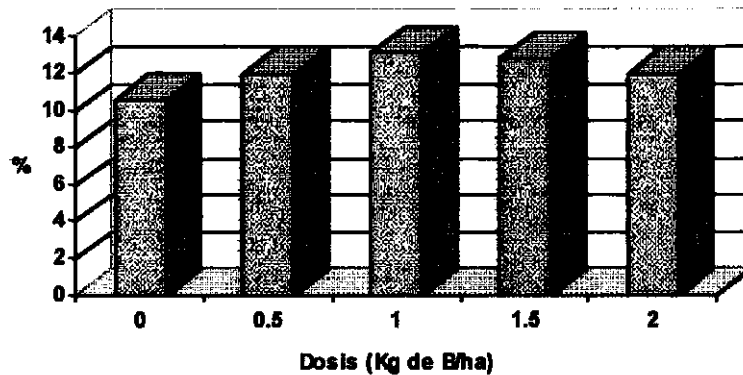


FIGURA 4. Efecto de las dosis de Boro sobre el rendimiento de tubérculos de tamaño extra de papa criolla.

En la Figura 4 se presentan los rendimientos obtenidos para cada una de las dosis; se observa que la producción se ve reflejada positivamente en el incremento con dosis hasta de 1 kg de B/ha, a partir de este momento decaen los porcentajes de participación promedio; esto indica que el Boro en esta variable de rendimiento es fundamental para incrementar los rendimientos en este tamaño de tubérculo.

4.3.2 Efecto de las fuentes

No se presentaron diferencias significativas entre las tres fuentes de Boro evaluadas se acuerdo con al análisis de varianza (Anexo N.9), aunque se observa una tendencia hacia mayores porcentajes de participación promedio con la adición de Borato como fuente de Boro en aplicación al suelo, con el 13.54% de tubérculos de categoría extra, seguida de Bórax con 45.70 % para dicha categoría de tubérculo.

4.3.3 Interacción entre dosis y fuente

De acuerdo con el análisis estadístico (Anexo N.9) para esta variable, no se encontraron diferencias significativas entre la interacción fuente por dosis.

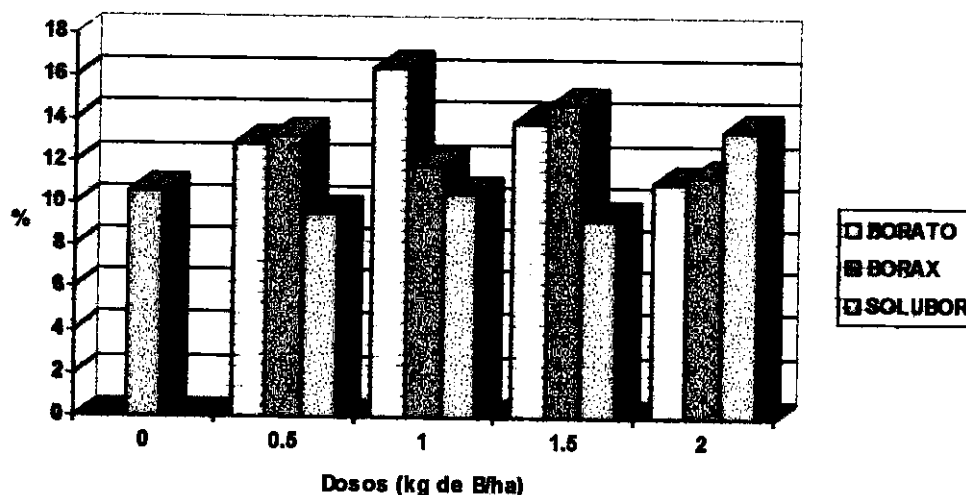


FIGURA 5. Interacción entre dosis y fuentes de Boro sobre el rendimiento extra de tubérculos de papa criolla.

- Se observa una tendencia hacia mayores rendimientos en el T3 (1.0 kg de Boro/ha) utilizando borato como fuente, con porcentaje de participación del 16.39% con respecto a la producción total, representando un incremento en los ingresos al agricultor para esta categoría de tubérculo, con relación a los menores rendimientos promedio encontrados con el T12 (1.5 kg de Boro/ha) con el 9.29% de papa con respecto al rendimiento total. (Figura 5).

4.4 RENDIMIENTO PRIMERA

4.4.1 Efecto de las dosis

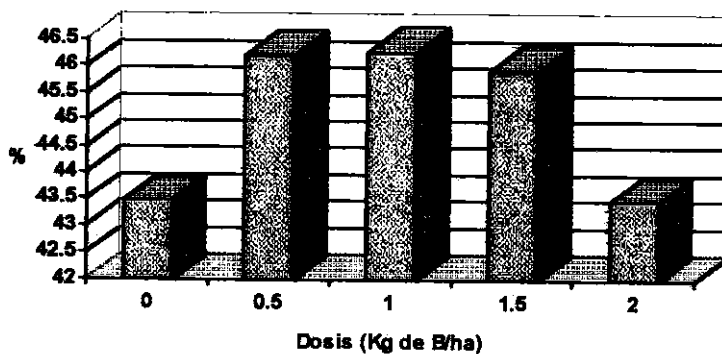


FIGURA 6. Efecto de las dosis de Boro sobre el rendimiento de tubérculos de tamaño primera de papa criolla.

No se presentaron diferencias significativas entre las dosis de Boro aplicadas de acuerdo al análisis estadístico (Anexo N.13), aunque se observa que al aumentar las dosis de aplicación del elemento los rendimientos de tubérculo para esta categoría disminuyen.

4.4.2 Efecto de las fuentes

Estadísticamente no se encontraron diferencias significativas entre las fuentes de boro evaluadas, aunque se observa que los mayores porcentajes de participación promedio para esta categoría de tubérculo (46.81%) se consiguen al adicionar Solubor. Al analizar esta variable se observa la

importancia de buscar alternativas que maximicen la eficiencia de la fertilización a base de Boro, y en este caso se puede observar la importancia del Borato en aplicación edáfica en estos suelos para incrementar los rendimientos en esta categoría de importancia comercial.

4.4.3 Interacción entre dosis y fuente

No se presentaron diferencias significativas entre la interacción dosis y fuente de Boro de acuerdo al análisis estadístico (Anexo N. 13), se obtuvo una tendencia hacia los mayores rendimientos con el tratamiento 12 (1.5 kg de B/ha) utilizando como fuente solubor con el 50% de para esta categoría (Figura 7), lo cual es muy importante para el comercio del producto ya sea en fresco o para agroindustria, puesto que esta categoría es muy apetecida en el mercado.

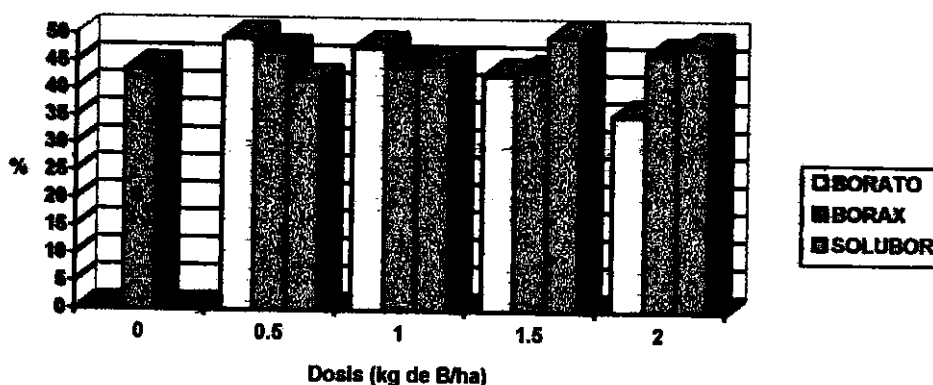


FIGURA 7. Interacción entre dosis y fuentes de Boro sobre el rendimiento primera de tubérculos de papa criolla.

4.5 RENDIMIENTO SEGUNDA

4.5.1 Efecto de las dosis

No se presentaron diferencias significativas entre las dosis de Boro aplicadas de acuerdo al análisis de varianza (AnexoN.17), los mayores rendimientos se alcanzaron sin adicionar Boro con 42.72% de participación en esta categoría de tubérculo, con lo cual no se justifica la adición de Boro ya que con el incremento de las dosis los rendimientos tienden a decaer (Figura 8).

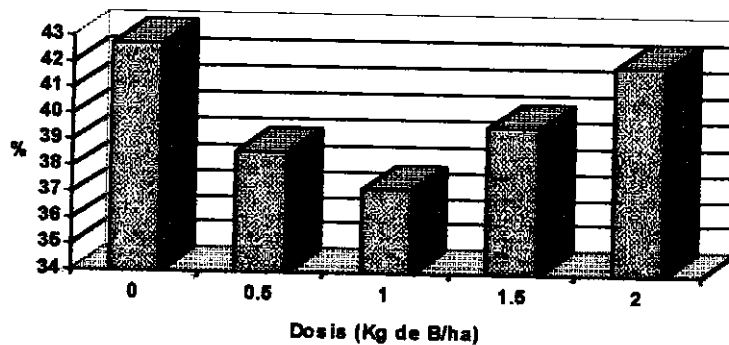


FIGURA 8. Efecto de las dosis de Boro sobre el rendimiento de tubérculos de tamaño segunda de papa criolla.

4.5.2 Efecto de las fuentes

El análisis de varianza no manifiesta diferencias significativas entre las fuentes de Boro evaluadas (Anexo N.17), aunque los mayores porcentajes de papa para esta categoría de tubérculo se presentan con la adición de Solubor como fuente con 39.94%, seguida de Bórax y Borato, con la menor participación, posiblemente debido a que esta última fuente se pierde fácilmente por lixiviación debido a su alta movilidad.

4.5.3 Interacción entre dosis y fuente

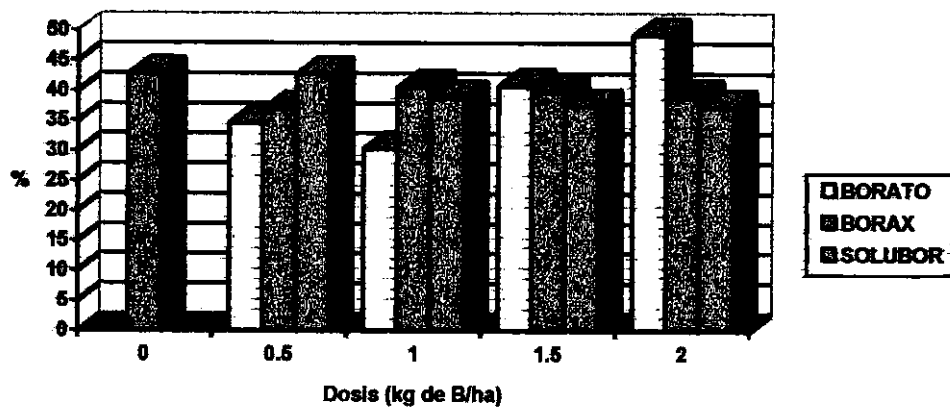
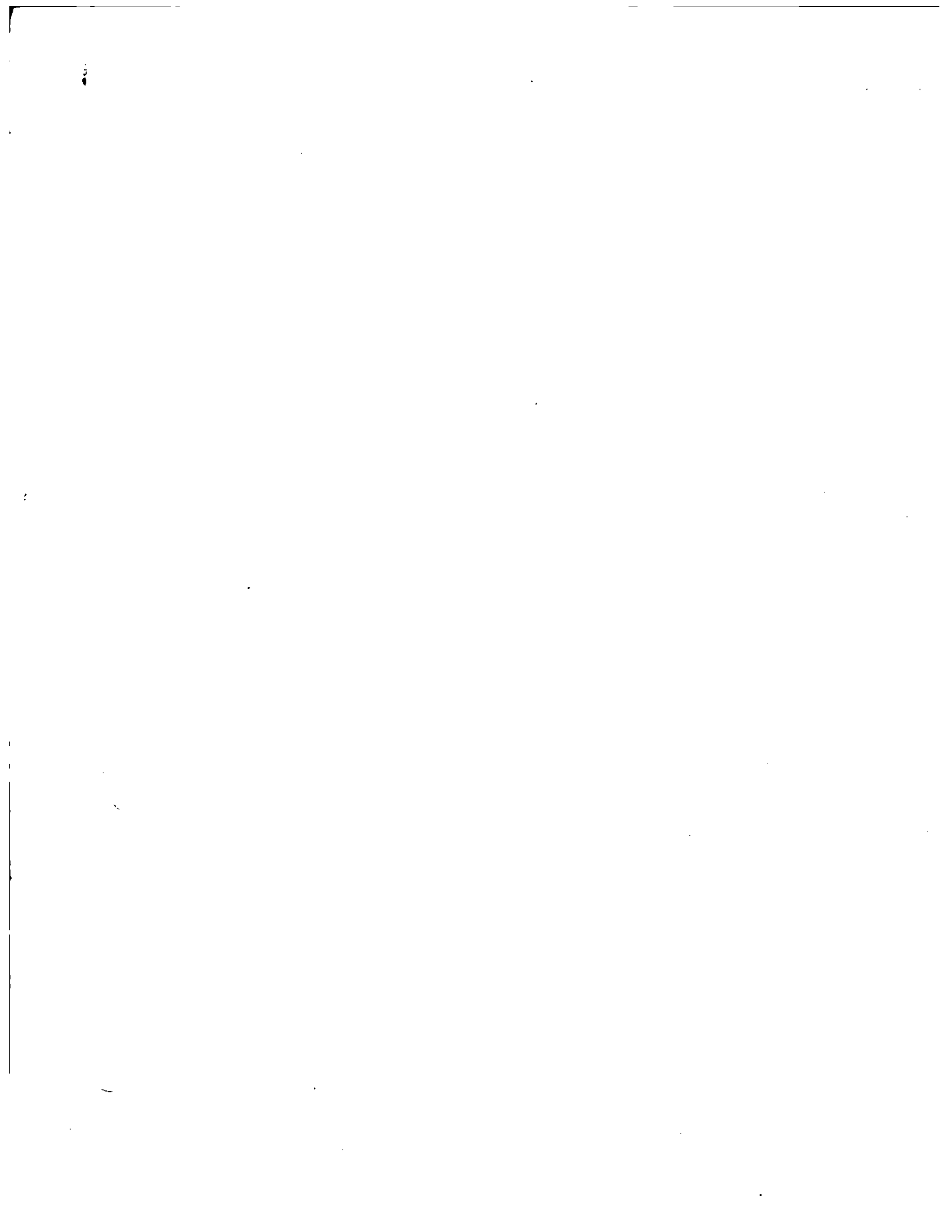


FIGURA 9. Interacción entre dosis y fuentes de Boro sobre el rendimiento segunda de tubérculos de papa criolla.



Estadísticamente no se presentaron diferencias significativas entre la interacción fuente y dosis de Boro, aunque de acuerdo con la prueba de Duncan (Anexo N. 20) se encontraron diferencias significativas en con la adición de 2 kg de B/ha y 0.5 kg de B/ha a partir de Borato y Solubor como fuentes de Boro respectivamente, con los mayores porcentajes de participación (49.82% y 44.43%) con respecto a los menores porcentajes de papa para esta categoría de tubérculo encontrados cuando se adicionó 1 kg de B/ha a partir de Borato como fuente (Figura 9).

4.6 RENDIMIENTO TERCERA

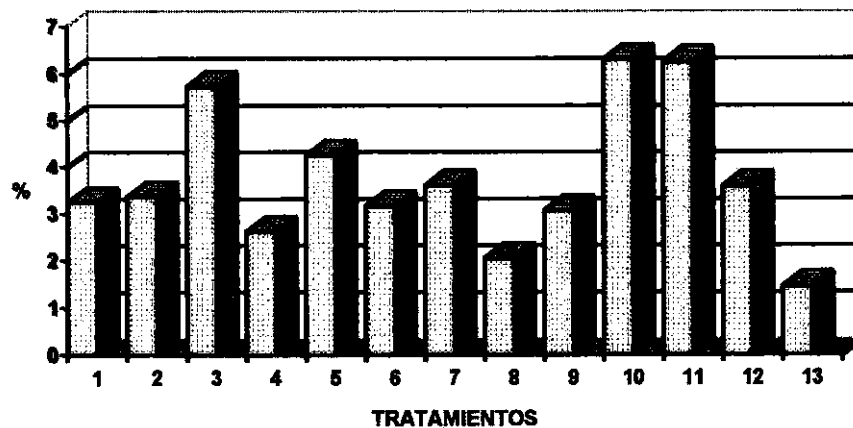


FIGURA 10. Respuesta de la aplicación de fuentes y dosis de Boro sobre la producción de papa criolla categoría tercera.

No se presentaron diferencias entre las fuentes y dosis de Boro aplicadas al suelo sobre el rendimiento de tubérculos de papa categoría tercera. Los mayores rendimiento promedio se encontraron al adicionar 0.5 kg de

Boro/ha a partir de solubor como fuente de Boro (6.31% de participación), con relación a los menores rendimientos de papa obtenidos al adicionar 2.0 kg de Boro/ha, con porcentajes de 1.45% con respecto al rendimiento total.

Los menores porcentajes de tubérculo de categoría tercera se presentan con la adición de bórax como fuente de Boro; esto demuestra que con una buena y eficiente fertilización se pueden lograr excelentes rendimientos, es decir mayor tamaño de tubérculo, lo que interesa a un productor de papa, teniendo en cuenta que este tamaño de tubérculo no es importante desde el punto de vista comercial.

4.7 DENSIDAD

Los resultados obtenidos en la determinación de la densidad de los tubérculos para cada uno de los tratamientos no presentaron diferencias significativas tanto en dosis como en fuentes de acuerdo con el análisis de varianza (Anexo N.25), se consiguieron valores dentro del rango de 1.0220 – 1.1270 gr/cc. Lo que demuestra que la adición de Boro no influye en la densidad del tubérculo.

4.8 MATERIA SECA

4.8.1 Efecto de las dosis

El efecto de las dosis de Boro sobre la producción de materia seca presentó diferencias significativas con respecto al testigo (Anexo N. 29).

Los contenidos de materia seca aumenta a medida que se incrementan las dosis de aplicación hasta 1.5 kg de B/ha (Figura 11). Al evaluar los promedios de las dosis mediante la prueba de Duncan (Anexo N. 30), se presentaron diferencias significativas entre la dosis de 1.5 kg de B/ha, comparado con el testigo (sin adición de Boro), siendo estas dosis las que presentaron los mayores y menores contenido de materia seca con valores de 19.99% y 17.33% respectivamente.

El mayor contenido de materia seca reportado en esta investigación (19.99%) se encuentra dentro del rango reportado por FEDEPAPA los cuales oscila entre 19 y 20.21% de materia seca para papa criolla. Se observa claramente que la adición de Boro influye directamente en la concentración de materia seca del tubérculo.

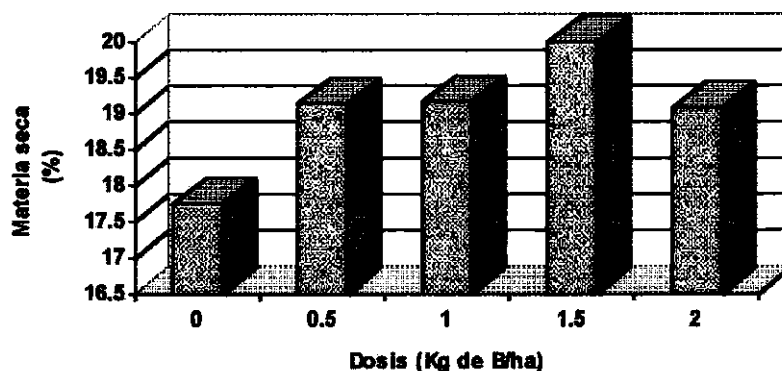


Figura 11. Efecto de las dosis de Boro sobre la concentración de materia seca del tubérculo de papa criolla.

Con las dosis de Boro se establece un modelo lineal en el contenido de materia seca (Anexo N. 32A), en el cual a medida que aumentan las dosis de Boro aumenta la concentración de materia seca en el tubérculo de papa; este incremento se debe posiblemente a que este micronutriente influye en la síntesis de algunos componentes de las membranas celulares y estimula en crecimiento celular, además desempeña un papel importante en el metabolismo de los carbohidratos y de las sustancias pépticas constituyentes de la materia seca.

4.8.2 Efecto de las fuentes

De acuerdo con el análisis de varianza (Anexo N.29), la fertilización con Boro no presentó diferencias altamente significativas con las diferentes

fuentes de Boro aplicadas al suelo. Al realizar la comparación de promedios mediante la prueba de Duncan (Anexo N.32) no se observan diferencias entre fuentes, se consiguen los mayores contenidos con la a adición de Borato como fuente con valores de 19.56%, seguido de Solubor y bórax con 19.45% y 18.99% de materia seca en tubérculos de papa criolla.

4.8.3 Interacción entre dosis y fuentes.

La interacción fuente por dosis de Boro sobre la producción de materia seca presentó diferencias altamente significativas (Anexo N.29), en la Figura 12 se presentan los resultados obtenidos.

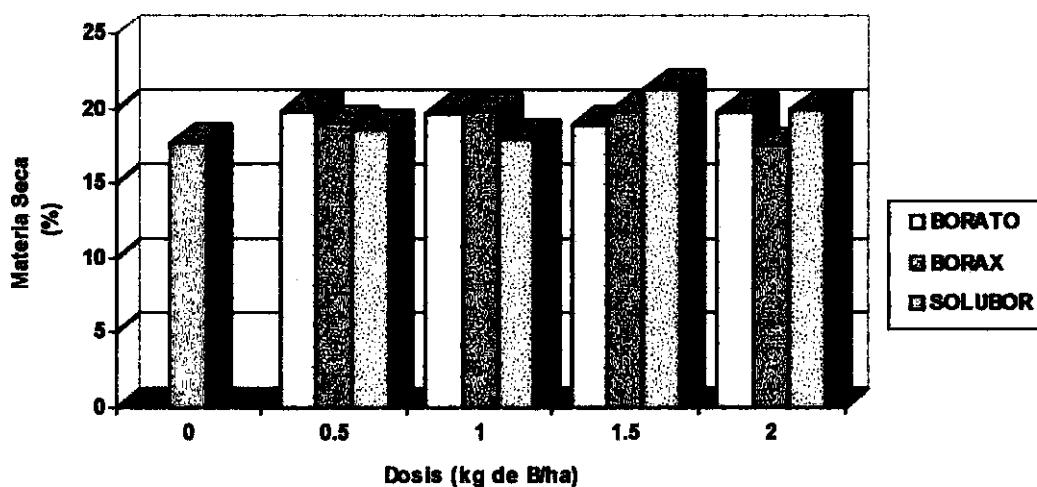


FIGURA 12. Interacción entre dosis y fuentes de Boro sobre el contenido de materia seca del tubérculo de papa criolla.

La prueba de Duncan (Anexo N.32) indica que existen diferencias significativas entre el tratamiento 12 (1.5 kg de solubor/ha) con el mayor contenido promedio de materia seca (21.32%) respecto a los tratamientos 11,1 y 9 con contenidos de 17.98%, 17.72% y 17.50% respectivamente.

En la Figura 12 se observa que los diferentes tratamientos presentan un incremento en la producción de materia seca, lo anterior puede sugerir el empleo de Boro para incrementar estos contenidos y por ende ofrecer a la agroindustria un producto de mejor calidad.

4.9 PROTEINA

4.9.1 Efecto de las dosis

El efecto de las dosis de Boro sobre la producción de proteína presentó diferencias altamente significativas de acuerdo con el análisis estadístico (Anexo N.33), lo cual indica que la fertilización con Boro influye considerablemente en el contenido de proteína.

La concentración de proteína se incrementa considerablemente hasta 1.5 kg de B/ha, consiguiéndose con esta dosis el mayor porcentaje de proteína (7.78%), mientras que el menor porcentaje de proteína se presentó con la

adición de 2.0 kg de B/ha con concentraciones de 6.71% de proteína (Figura 13). Los resultados obtenidos indican que la fertilización con Boro influye considerablemente en los contenidos de Proteína en los tubérculos de papa criolla; los valores encontrados en la presente investigación sin tener en cuenta la calidad de la misma superan los reportados por FEDEPAPA los cuales oscilan alrededor del 3%.

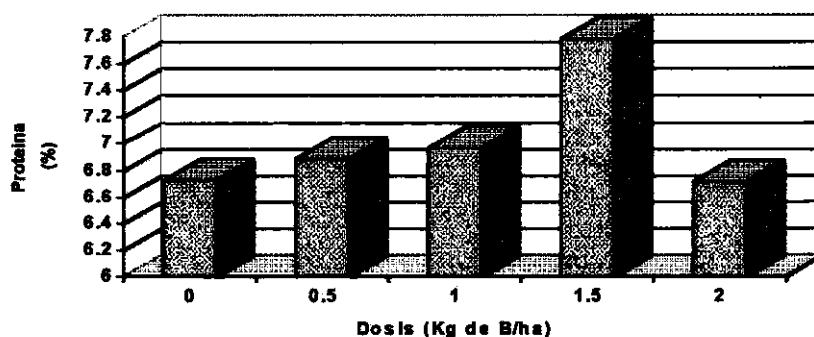


Figura 13. Efecto de las dosis de Boro sobre la concentración de proteína del tubérculo de papa criolla.

Se establece un modelo lineal y cuadrático en la concentración de proteína en el tubérculo de acuerdo con los el análisis de regresión polinomial (Anexo N.36A); al incrementarse las dosis de Boro en el suelo se incrementan los valores de proteína en el tubérculo de papa criolla, debido a que el Boro participa en la síntesis de ácidos nucleicos y sus deficiencias causan decrecimiento de aminoácidos libres con respecto a aquellos unidos a proteínas.

4.9.2 Efecto de las fuentes

Las fuentes de Boro presentaron diferencias altamente significativas sobre el contenido de proteína del tubérculo de papa criolla, aplicaciones de borato presentaron los mayores valores de proteína en los tubérculos de papa criolla, seguida de bórax y solubor (Anexo N. 35).

4.9.3 Interacción fuente por dosis.

En la Figura 14 se presenta la interacción fuente por dosis de Boro sobre el contenido de proteína del tubérculo de papa criolla

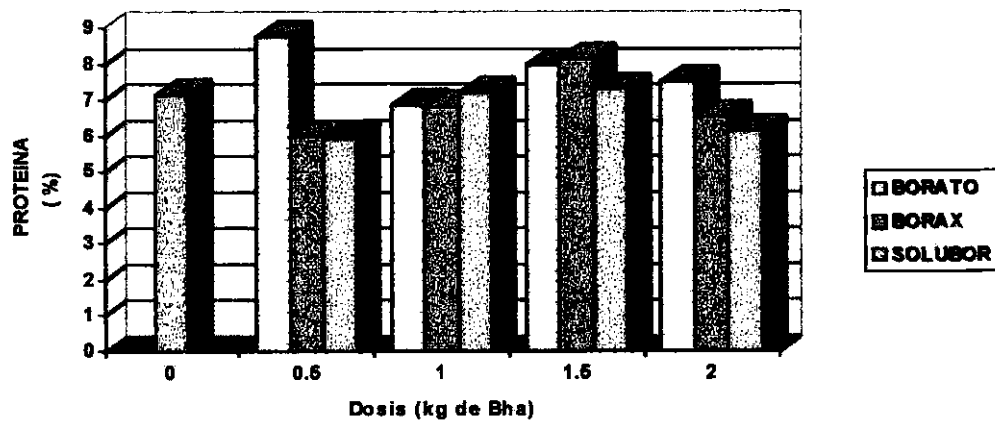


FIGURA 14. Interacción entre fuentes y dosis de Boro sobre el contenido de proteína del tubérculo de papa criolla.

Se encontraron diferencias altamente significativas en la interacción fuente por dosis, obteniéndose el mayor contenido de proteína cuando se adicionaron 0.5 kg de B/ha a partir de borato como fuente de Boro.

Es de gran importancia la aplicación de Boro en esta especie de papa, puesto que al aumentar los niveles de Boro en el suelo, hay una mayor disponibilidad del elemento y este por reacciones bioquímicas interviene en la síntesis de proteína, aumentando por ende los niveles proteicos en el tubérculo de papa criolla.

4.10 AZUCARES REDUCTORES

Tabla 4. Azúcares reductores en tubérculos de papa criolla (%)

DESCRIPCION	TTO	% A.R.
BORATO 0 kg de B/ha.	1	0,08
BORATO 0.5 kg de B/ha.	2	0,15
BORATO 1.0 kg de B/ha.	3	0,13
BORATO 1.5 kg de B/ha.	4	0,06
BORATO 2.0 kg de B/ha.	5	0,11
BORAX 0.5 kg de B/ha.	6	0,07
BORAX 1.0 kg de B/ha.	7	0,18
BORAX 1.5 kg de B/ha.	8	0,10
BORAX 2.0 kg de B/ha.	9	0,06
SOLUBOR 0.5 kg de B/ha.	10	0,11
SOLUBOR 1.0 kg de B/ha.	11	0,08
SOLUBOR 1.5 kg de B/ha.	12	0,20
SOLUBOR 2.0 kg de B/ha.	13	0,08

Para el análisis de esta variable solo se evaluó una muestra representativa por tratamiento. En la Tabla 4 se presentan los resultados de azúcares reductores obtenidos en las muestras de tubérculo de papa criolla.

De acuerdo a los análisis de laboratorio, todos los tratamientos presentaron niveles óptimos de azúcares reductores para procesamiento al momento de la cosecha; es decir mostraron concentraciones por debajo de 0.2%, consideradas como valores máximos para este parámetro, desde el punto de vista agroindustrial. En consecuencia ni las dosis ni las fuentes de Boro exploradas, marcaron diferencias para azúcares reductores, debido posiblemente a que los niveles de Boro en el suelo, fueron suficientes para garantizar un adecuado nivel de azúcares reductores en el tubérculo al momento de la cosecha.

Se han encontrado argumentos en favor de la intervención del Boro en el transporte de glúcidos en la planta; este elemento es esencial en el traslado de azúcares, formando un complejo azúcar-borato que pasaría más fácilmente a través de las membranas celulares.

4.11 ANALISIS ECONOMICO

La información presentada en la Tabla 5, es el resultado de establecer la relación Beneficio: Costo para las fuentes y dosis de Boro evaluadas en cada uno de los tratamientos, con base en los costos variables de la fertilización con las diferentes fuentes y dosis de Boro aplicadas para la producción de las categorías de tubérculo extra, primera y segunda, los cuales se comercializan en el mercado tanto para consumo fresco, como para agroindustria.

Tabla 5. Análisis de la relación Beneficio Costo

TTO	PRODUCCION COMERCIAL Kg/ha	VALOR DE PROD. (B)	INCREMENTO DE PROD. Kg	VALOR INCREMENTO (C)	COSTO DE FERTILIZACION	R/C
1	17800	5696000	0	0	0	0
2	19330	6185600	1530	489600	29.676	16.50
3	16620	5318400	-1180	-377600	35.352	-10.68
4	16550	5296000	-1250	-400000	41.028	-9.75
5	17720	5670400	-80	-25600	46.704	-0.54
6	20510	6563200	2710	867200	32.685	26.53
7	16390	5244800	-1410	-451200	41.370	-10.91
8	19750	6320000	1950	624000	50.055	12.47
9	13400	4288000	-4400	-1408000	58.740	-23.97
10	17510	5603200	-290	-92800	40.320	-2.30
11	16180	5177600	-1620	-518400	56.640	-9.15
12	15250	4880000	-2550	-816000	72960	-11.18
13	14440	4620800	-3360	-1075200	89280	-12.04

R/B : Relación Beneficio Costo

Es importante destacar que en el mercado nacional, no se consideran parámetros de calidad de los tubérculos de papa criolla tales como (materia seca, proteína y azúcares reductores) para el consumo en fresco en el establecimiento de los precios; en términos generales si la producción obtenida se establece para este consumo, se tendría utilidad con la aplicación de 0.5 kg de B/ha a partir de Borato, 0.5 y 1.5 kg de B/ha a partir de Bórax como fuente, con ganancias de \$15.50, \$25.53 y \$11.47 respectivamente, por cada peso invertido, los demás tratamientos reportan pérdidas económicas.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Con la aplicaciones al suelo hasta 2 kg de B/ha, se incrementan los niveles del elemento en los peciolo nuevos en la iniciación de la floración, sin producir fitotoxicidad visible al follaje de las plantas de papa criolla, indicando con ello la tolerancia de la planta a la aplicación del elemento.
- Bajo las condiciones del presente ensayo, los máximos incrementos en rendimiento total de papa criolla (2.77 toneladas de papa criolla/ha) se obtuvieron con borato como fuente de Boro , en dosis de 0.5 kg de B/ha aplicados al suelo en el momento de la siembra.
- La fertilización con Boro al suelo no presenta diferencias estadísticamente significativas en la clasificación de tubérculos por tamaño (extra, primera y segunda).
- No hubo efecto de la aplicación de Boro al suelo en el momento de la siembra sobre la densidad de los tubérculos de papa criolla, posiblemente

porque es una característica en la que no influye la fertilización con este elemento.

- Aplicaciones de Solubor hasta 1.5 kg de B/ha, incrementa considerablemente la concentración de materia seca hasta 21.32% en tubérculos de papa criolla
- La fertilización con Boro influye positivamente en el contenido de proteína del tubérculo de papa criolla, con aplicaciones hasta 1.5 kg de Boro/ha a partir de borato como fuente de Boro se obtiene 8.74% de proteína; con el incremento en esta dosis se observa un comportamiento contrario.
- Económicamente la mayor relación Beneficio: Costo sobre la producción comercial de papa criolla, se obtiene con la adición de 0.5 kg de Boro/ha a partir de bórax como fuente de Boro con una ganancia de \$25.53 por cada peso invertido.
- Bajo las condiciones del trabajo, las fuentes y dosis de Boro más adecuadas para aplicación al suelo corresponden a Bórax (0.5 kg de B/ha), Solubor (1.5 kg de B/ha) y Borato (0.5 kg de B/ha), por presentar

las siguientes características: mayor rendimiento total de papa, mayor rentabilidad; mayor contenido de materia seca; y altas concentraciones de proteína en el tubérculo de papa criolla variedad Yema de Huevo.

- Se recomienda realizar más trabajos de investigación en diferentes suelos y bajo condiciones agroecológicas diferentes, que involucren dosis inferiores a 0.5 kg de B/ha y superiores hasta alcanzar 1.5 kg de B/ha.
- Realizar trabajos con diferentes fuentes y dosis de Boro para aplicación foliar y compararlos con los resultados obtenidos con las fuentes de aplicación al suelo.
- Determinar niveles críticos de Boro en el cultivo de papa criolla variedad "yema de huevo" a través de más experimentos y en diferentes localidades.

RESUMEN

Con el objeto de determinar la respuesta de la papa criolla (*Solanum phureja*) a la aplicación de fuentes y dosis de Boro a un suelo orgánico, se llevó a cabo una investigación en el Municipio de Carmen de Carupa, con una altitud de 2950 m.s.n.m., precipitación pluvial promedio 980 mm anuales, temperatura de 11 – 12° C y Humedad relativa del 85%. El suelo de esta localidad es de textura franco arenosa, pH de 4.6, contenido de Boro de 0.10 ppm considerado como deficiente para el desarrollo de la planta.

Se evaluaron las dosis de 0.5, 1.0, 1.5 y 2.0 kg de Boro/ha a partir de las fuentes : borato (15% de B), bórax (11% de B) y solubor (20.5% de B), frente a un tratamiento sin aplicación edáfica de Boro. Las plantas se sembraron a 0.33 m entre si y distancias de 1 m entre surcos. Se empleó un diseño experimental de Bloques Completos al Azar con 13 tratamientos y 3 repeticiones.

El análisis de varianza reportó en rendimiento total, diferencias significativas con las dosis de Boro evaluadas; los resultados indican que al aplicar 0.5 kg

de Boro/ha se obtienen los mayores rendimientos con incrementos cercanos al 8.5% en comparación al testigo. La respuesta a la dosis baja posiblemente se debe a la baja fijación del elemento ya que el alofano solo aparece después de los 75 cm de profundidad.

En cuanto a los rendimientos obtenidos para la participación por tamaños (extra, primera, segunda y tercera), en general, no se encontraron diferencias significativas entre las fuentes y dosis de Boro evaluadas, lo cual indica que la fertilización con este micronutriente no presentó efecto en estas categorías de tubérculo posiblemente a las características edáficas y climáticas.

El contenido de materia seca en el tubérculo presentó diferencias altamente significativas en la interacción fuente por dosis de Boro; con la adición de 1.5 kg de Boro/ha a partir de solubor como fuente de Boro se obtuvieron los mayores contenidos de proteína en el tubérculo, lo que indica que la fertilización con Boro influye positivamente en el contenido de materia seca del tubérculo de papa criolla, estos contenidos se encontraron dentro del rango de 17.51 -21.32% bajo las condiciones del ensayo.

El contenido de proteína presentó diferencias altamente significativas con las fuentes y dosis de Boro aplicadas. La fertilización a base de Boro

incrementó los niveles de proteína. Dosis hasta 0.5 kg de boro/ha incrementan los contenidos de proteína en el tubérculo, siendo el borato la fuente más recomendable estadísticamente para incrementar estos niveles hasta 8.74%. Este comportamiento es muy importante desde el punto de vista nutricional e industrial.

Los tratamientos presentaron niveles óptimos de azúcares reductores para el procesamiento, al momento de la cosecha, es decir presentaron concentraciones por debajo de 0.2% en base seca, considerados como máximos permisibles para el procesamiento de la papa; en consecuencia ni las fuentes ni las dosis evaluadas marcaron diferencias para este parámetro bajo las condiciones de experimentación.

Los únicos tratamientos económicamente rentables para el comercio en fresco de la papa criolla corresponde a aquellos a los cuales se adicionaron al suelo 0.5 kg de B/ha a partir de Borato, 0.5 y 1.5 kg de B/ha a partir de Bórax como fuente, con ganancias de \$15.50, \$25.53 y \$11.47 respectivamente por cada peso invertido ; aplicaciones de 1.5 kg de B/ha a partir de bórax como fuente de boro genera pérdidas económicas de -\$24.97 por cada peso invertido.

BIBLIOGRAFIA

ABELLA P., J. y GERENAS C.,E. 1984. Respuesta varietal de la papa (*Solanum tuberosum* L.) a la aplicación de Boro en un Andept de Cundinamarca. Tesis de grado Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional. Bogotá; 157 p.

BARRERA, L. 1993. Respuesta de la papa (*Solanum tuberosum* sp. *andigena*) al Boro en suelos de Cundinamarca y Boyacá. En: Suelos ecuatoriales 23(1-2). Colombia; p. 116 – 120

BARRERA, L. 1994. La fertilidad de suelos en clima frío y la fertilización de cultivos. En: Fertilidad de suelos diagnóstico y control. S.C.C.S. Santafé de Bogotá; p. 418 –463.

BARRERA, L. 1998. Los micronutrientes en el cultivo de la papa, con énfasis en cundinamarca y Boyacá. En: Fertilización de cultivos en clima frío. Monómeros Colombo venezolanos. Santafé de Bogotá, D.C; p. 113 - 130.

CALDERON, M. E. 1997. Industrialización de la papa criolla. En: Revista papa. Memorias II Simposio Nacional de Papa Criolla "*Solanum phureja*". Santafé de Bogotá, D.C.

CARRASCO, C.; PINEDA, R. 1993. Papa criolla Yema de Huevo, una multivariedad nativa. En: Revista Papa. Federación Nacional de productores de papa. Bogotá; 32p.

GARAVITO F., N. 1976. Propiedades del suelo en relación con deficiencias de boro en el Valle del Cauca. Tesis de grado M.Sc. Universidad Nacional. Bogotá; 86 p.

GARCIA G., J.; MEJIA N., R. 1998. Efecto del boro en los componentes del rendimiento de la papa criolla (*Solanum phureja* J. Et. B.) en la vereda Malteria del municipio de Manizales. Tesis de grado. Universidad de Caldas. Manizales; 82 p.

GARCIA O., A.; ROA B.,C.; CASTILLO L. 1998. Boro y zinc dos elementos limitantes en Colombia. ICA. Programa de suelos. C.I. Palmira; p. 18 - 32

GOMEZ, A.; LEGUIZAMON, J. 1975. Importancia del boro para las plantas. Avances técnicos N.43. Cenicafé. Colombia; p 1 -4

GUERRERO R., R.; BURBANO O., H. 1978. Estado de micronutrientes en suelos derivados de cenizas volcánicas. En: Suelos Ecuatoriales 9(2). Colombia ; p. 171 - 181

GUERRERO R., R. 1988. La fertilización de la papa en Colombia. Monómeros Colombo Venezolanos. Colección punto verde N.2. Bogotá.

GUERRERO R., R. 1998. Fertilización de cultivos en clima frío. Monómeros Colombo Venezolanos. Santafé de Bogotá, D.C.

HERNANDEZ C., E. 1992. Características y condiciones de producción de papa para procesamiento. En: Revista Papa N. 5. Federación Colombiana de Productores de Papa. Santafé de Bogotá D.C.

INFANTE V. 1997. Evaluación financiera de proyectos de inversión. Santafé de Bogotá, D.C; p 45 - 56 .

INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO. 1993. Manual de análisis de suelos, plantas y aguas para riego. Bogotá, Colombia; 236 p.

LOPEZ J., L. 1993. Las papas silvestres de Colombia. En: Revista Papas N.7. Fedepapa. Bogotá; p. 4 – 13

LORA S., R. 1978. Respuesta de los cultivos de clima frío a la aplicación de micronutrientes. Suelos ecuatoriales 9(2): Colombia; 183 – 190

LORA S., R. 1980. Fertilización de la papa en Colombia. En: Curso de actualización de conocimientos en el cultivo de la papa. Bogotá (Colombia); p. 26 -38

MENGEL, K. And KIRKBY.1987. Principles of plant nutrition. International potash institute. Federal Republic of Germany ; p. 559-572.

MUNEVAR, F.; LORA S., R. 1977. Fertilización de la papa en Cundinamarca y Boyacá. En: Manejo de suelos de la región N. 1. ICA. Tibaitatá; p. 33 – 54

- PANTOJA L., C.; GARCIA R., B. 1998. Fertilización del cultivo de trigo en el departamento de Nariño. En: Fertilización de cultivos en clima frío. Monómeros colombo venezolanos. Santafe de Bogotá, D.C; p. 173 – 174.
- PEÑA G., F. 1997. Respuesta de la papa criolla (*Solanum phureja* Juz. et Buk) a la aplicación de fósforo y materia orgánica en suelos derivados de cenizas volcánicas. Tesis de grado. U.D.C.A. Santafé de Bogotá, D.C; 123 p.
- PINEDA C., R. 1995. Perspectivas para el desarrollo agroindustrial del cultivo de papa en Colombia. En: Revista PAPA N. 13. Federación Colombiana de Productores de Papa. Santafé de Bogotá D.C.
- RODRIGUEZ, A.; HERNANDEZ, E. 1999. Variedades Colombianas de Papa. En. Revista papa N. 19. Federación Colombiana de Productores de Papa. Santafé de Bogotá D.C; p 7.
- RODRIGUEZ M., A. 1995. Fertilización de la caña panelera. En: fertilización de cultivos de clima medio. Monómeros colombo venezolanos. Santafé de Bogotá ; p. 126 – 127.

ANEXOS

Anexo N.1 Análisis de suelo

TEXTURA	FRANCO ARENOSO	pH	4.64	B
		C.E. dS/m	0.59	B
ARENA %	62	Sat. Hum. %	0	D
LIMO %	28	C.I.C.E me/100g	9.90	B
ARCILLA %	10	C.O %	13.23	A

Potasio me/100g	1.57	616	ppm	E	Hierro ppm	8	D	Fósforo ppm	20	M
Calcio me/100g	2.50	501	ppm	B	Mn ppm	13	M	S-SO ₄ ppm	18	B
Magnesio me/100g	0.95	115	ppm	B	Cobre ppm	0.30	D	N-NH ₄ ppm	0	D
Sodio me/100g	0.28	65	ppm	M	Zinc ppm	3.40	M	N-NO ₃ ppm	0	D
Aluminio me/100g	4.60	414	ppm	E	Boro ppm	0.10	D			

% Sat. Magnesio	9.55	Ca/Mg	2.64
% Sat. Sodio	2.85	Ca/K	1.59
% Sat. Aluminio	46.46	Mg/K	0.60
% Sat. Potasio	15.90	(Ca+Mg)/K	2.19
% Sat. Calcio	25.25		

METODOLOGIAS ANALITICAS

PARÁMETRO	METODO DE DETERMINACION	CLAVES
TEXTURA	BOUYUCOS	D : Deficiente B : Bajo M : Medio A : Alto E. Excesivo
CARBONO ORGANICO	WALKLEY - BLACK - Colorimetría	
pH	Pasta de Saturación	
C. E. (dS/m)	Extracto de Saturación	
% SATURACION DE HUMEDAD	Con base en el peso húmedo	
C.I.C.E. (me/100 g)	Suma de cationes	
FOSFORO ASIMILABLE (ppm)	Bray II. Colorimetría	
NITROGENO AMONIAICAL (ppm)	Extracción con Cloruro de Sodio. Colorimetría	
NITROGENO NITRICO (ppm)	Extracción con Acetato de Sodio. Colorimetría	
AZUFRE (ppm)	Extrac. Fosfato Monocálcico. Turbimetría	
K, Ca, Mg, Na	Extrac. Acetato de Amonio. Abs. Atomica	
ALUMINIO INTERCAMBIABLE	Extrac. Cloruro de Potasio. Volumetría	
Fe, Mn., Cu, Zn (ppm)	Metodo de Melhich	
BORO (ppm)	Extrac. Fosfato Monocálcico. Colorimetría	

Anexo N.2 Descripción de perfiles.

UNIDAD TAXONOMICA : Conjunto Frentepino (Typic Dystrudepts)

UNIDAD CARTOGRAFICA : Asociación Frentepino (FR)

DESCRIBIO : Ana Isabel Sevillano, Julio 13 de 1999.

LOCALIZACION : Noroccidente del municipio de Carmen de Carupa, Vereda Alto de Mesa, Finca Arizona, departamento de Cundinamarca.

ALTITUD : 2950 m.s.n.m.

POSICION FISIOGRAFICA : Parte media de la ladera

RELIEVE : Ligeramente inclinado, pendiente 4%

MATERIAL PARENTAL : Arcillolitas y esquistos arcillosos con intercalaciones de areniscas

PROFUNDIDAD EFECTIVA : Superficial.

REGIMEN CLIMATICO DEL SUELO : Isomesico

REGIMEN DE HUMEDAD DEL SUELO : Udico

DRENAJES : Externo medio, interno medio, natural bien drenado.

EPIPEDON : Ocrico

ENDOPEDON : Cámbico

VEGETACION NATURAL: Destruida

0-22 cm Ap : color pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2) en húmedo ; textura franco arcillo arenosa con gravilla ; estructura grano suelo ; consistencia friable en

húmedo, ligeramente pegajosa, plástico en mojado; actividad de friable en húmedo, ligeramente pegajosa, plástica en mojado; actividad de macroorganismos, poca; raíces medias y finas, regulares; no hay reacción con fluoruro de sodio: pH 5.28; límite gradual y plano.

22-75 cm - Bw : color negro (YR 2/1) en húmedo; textura franco arcillo arenosa con gravilla y cascajo; estructura granular; consistencia friable en húmedo, ligeramente pegajosa, Plástica en mojado; actividad de macroorganismos muy poca; raíces finas, pocas; no hay reacción con fluoruro de sodio; pH 5.10; límite gradual y plano.

75-84/90 cm - Bw : Color pardo grasáceo muy oscuro (10 YR 3/2) en húmedo; textura franco arcillo arenosa con presencia de cascajo; consistencia friable en húmedo, pegajosa, ligeramente plástica en mojado; estructura en bloques subangulares; reacción ligera con fluoruro de sodio; pH 4.85; límite gradual e irregular.

84/90 - 100 + cm : Color pardo amarillento (10 YR 5/8) en húmedo con regulares manchas pequeñas, claras contrastadas de color pardo oliva claro (2.5 Y 5/3); textura arcillosa con piedras y gravilla; estructura masiva; consistencia muy firme en húmedo, pH 4.65.

Anexo N.3 Valores mensuales de precipitación.

MESES	PRECIPITACION (mm)
ENERO	23.7
FEBRERO	79.7
MARZO	32.4
ABRIL	50.7
MAYO	16.9
JUNIO	19.1

Anexo N.4 Distribución de parcelas en el campo

BLOQUE I	BLOQUE II	BLOQUE III
T 10	T 6	T 9
T 8	T 12	T 5
T 4	T 11	T 8
T 9	T 4	T 10
T 1	T 2	T 3
T 11	T 7	T 11
T 3	T 8	T 6
T 6	T 9	T 2
T 2	T 1	T 7
T 5	T 5	T 4
T 12	T 3	T 12
T 7	T 13	T 1
T 13	T 10	T 13

Anexo N.5 Analisis de varianza variable rendimiento total

Fuente de Variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado Medio	F calculado
Tratamientos	12	162.57	13.54	2.07 n.s
Fuentes	2	19.38	9.69	1.43 n.s
Dosis	3	83.68	27.89	4.11 *
F*D	6	58	9.66	1.42 n.s
Repeticiones	2	13.89	9.94	1.06 n.s.
Error	24	157.12	9.54	
Total	38	333.59		

n.s. = No significativo
 * = Diferencias significativas
 ** = Diferencias altamente significativas

C.V. = 14.44%
 Media = 17.70
 R² = 0.5290

Anexo N.6 Efecto de las dosis sobre el rendimiento total (ton/ha)

Dosis	Promedios	Diferencias
0.5	19.94	a
0	18.38	ab
1.5	17.66	ab
1.0	17.33	ab
2.0	15.66	b

* Promedios con la misma letra no son significantes según la prueba de Duncan al 5 %

Anexo N.7 Efecto de las fuentes sobre el rendimiento total (ton/ha)

FUENTES	Promedios	Diferencias
BORAX	18.29	a
BORATO	18.04	a
SOLUBOR	16.62	a

* Promedios con la misma letra no son significantes según la prueba de Duncan al 5 %

Anexo N.8 Efecto de la interaccion fuente - dosis sobre el rendimiento total (ton/ha).

Tratamiento	Promedios	Diferencias
6	21.16	a
8	20.16	ab
2	20.00	ab
10	18.67	abc
5	18.50	abc
1	18.39	abc
3	17.67	abc
11	17.33	abc
7	17.00	abc
4	17.00	abc
12	15.83	bc
13	14.67	c
9	13.83	c

* Tratamientos con la misma letra no son significantes según la prueba de Duncan al 5 %

Anexo N.8A Contrastes ortogonales variable rendimiento total

Contrastes	DF	Contrastes SS	C.M.	F.C.	Pr > f
LINEAL	1	12.534722	12.5347	1.85	0.1808 NS
CUADRATICA	1	0.840277	0.8402	0.12	0.7284 NS
CUBICA	1	70.312500	70.3125	10.3	0.0040 **

Anexo N. 9 Analisis de varianza variable rendimiento extra

Fuente de Variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado Medio	F calculado
Tratamientos	12	0.0310	13.54	0.38 n.s
Fuentes	2	0.0114	9.69	0.78 n.s
Dosis	3	0.0015	27.89	0.07 n.s
F*D	6	0.0161	9.66	0.37 n.s
Repeticiones	2	0.0185	9.94	1.37 n.s.
Error	24	0.1625	9.54	
Total	38	0.2120		

n.s. = No significativo

* = Diferencias significativas

** = Diferencias altamente significativas

C.V. = 23.37%

Media = 12.31

R² = 0.2336

Anexo N.10 Efecto de las dosis sobre el rendimiento extra (%)

Dosis	Promedios	Diferencias
1	13.08	a
1.5	12.79	a
2.0	11.99	a
0.5	11.95	a
0	10.57	a

* Promedios con la misma letra no son significantes según la prueba de Duncan al 5 %

Anexo N.11 Efecto de las fuentes sobre el rendimiento extra (%)

Fuentes	Promedios	Diferencias
BORATO	13.55	a
BORAX	12.90	a
SOLUBOR	10.91	a

* Promedios con la misma letra no son significantes según la prueba de Duncan al 5 %

Anexo N.12 Interaccion fuente - dosis sobre el rendimiento extra (%).

Tratamiento	Promedios	Diferencias
3	16.39	a
8	14.71	a
4	13.85	a
13	13.50	a
6	13.18	a
2	12.81	a
7	11.83	a
9	11.30	a
5	11.04	a
1	10.57	a
11	10.45	a
10	9.53	a
12	9.30	a

* Tratamientos con la misma letra no son significantes según la prueba de Duncan al 5%

Anexo N.13 Analisis de varianza variable rendimiento primera.

Fuente de Variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado Medio	F calculado
Traçamientos	12	514.88	42.91	0.51 n.s
Fuentes	2	53.48	26.74	0.29 n.s
Doşis	3	48.17	16.06	0.17 n.s
F*D	6	403.20	67.20	0.73 n.s
Repeticiones	2	711.80	355.90	4.23 n.s.
Error	24	2020.03	9.54	
Total	38	3246.72		

n.s. = No significativo

* = Diferencias significativas

** = Diferencias altamente significativas

C.V. = 20.24%

Media = 45.31

R² = 0.3778

Anexo N.14 Efecto de las dosis sobre el rendimiento primera (%).

Dosis	Promedios	Diferencias
1.0	46.26	a
0.5	46.19	a
1.5	45.91	a
0	43.47	a
2.0	43.46	a

* Promedios con la misma letra no son significantes según la prueba de Duncan al 5%

Anexo N.15 Efecto de las fuentes sobre el rendimiento primera (%).

Fuentes	Promedios	Diferencias
SOLUBOR	46.81	a
BORAX	45.70	a
BORATO	43.86	a

* Promedios con la misma letra no son significantes según la prueba de Duncan al 5%

Anexo N.16 Interaccion fuente - dosis sobre el rendimiento primera (%).

Tratamiento	Promedios	Diferencias
12	49.77	a
2	49.23	a
13	47.87	a
3	47.59	a
6	46.78	a
9	46.74	a
11	44.54	a
7	44.05	a
8	43.53	a
1	43.47	a
4	42.77	a
10	41.47	a
5	35.50	a

* Tratamientos con la misma letra no son significantes según la prueba de Duncan al 5%

Anexo N.17 Analisis de varianza variable rendimiento segunda.

Fuente de Variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado Medio	F calculado
Tratamientos	12	812.40	67.70	0.78 n.s
Fuentes	2	7.02	3.51	0.04 n.s
Dosis	3	108.23	36.08	0.38 n.s
F*D	6	664.57	110.76	1.17 n.s
Repeticiones	2	542.44	271.22	3.11 n.s.
Error	24	2091.68	87.15	
Total	38	3446.52		

n.s. = No significativo

* = Diferencias significativas

** = Diferencias altamente significativas

C.V. = 23.55%

Media = 39.63

R² = 0.3931

BIBLIOTECA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CARLOS DE GUAYAMA

Anexo N.18 Efecto de las dosis sobre el rendimiento segunda (%).

Dosis	Promedios	Diferencias
0	42.72	a
2.0	41.97	a
1.5	39.64	a
0.5	38.65	a
1.0	37.21	a

* Promedios con la misma letra no son significantes según la prueba de Duncan al 5%

Anexo N.19 Efecto de las fuentes sobre el rendimiento segunda (%).

Fuentes	Promedios	Diferencias
SOLUBOR	39.95	a
BORAX	39.29	a
BORATO	38.87	a

* Promedios con la misma letra no son significantes según la prueba de Duncan al 5%

Anexo N.20 Interaccion fuente - dosis sobre el rendimiento segunda.

Tratamiento	Promedios	Diferencias
5	49.20	a
10	42.69	ab
1	42.72	ab
7	40.51	ab
4	40.77	ab
8	39.71	ab
9	38.90	ab
11	38.74	ab
12	37.34	ab
13	37.17	ab
6	36.87	ab
2	34.60	ab
3	30.28	b

* Tratamientos con la misma letra no son significantes según la prueba de Duncan al 5%

Anexo N.21 Análisis de varianza variable rendimiento tercera.

Fuente de Variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado Medio	F calculado
Tratamientos	12	0.0546	0.0045	2.19 n.s
Fuentes	2	0.0064	0.0032	1.46 n.s
Dosis	3	0.0219	0.0073	3.34 *
F*D	6	0.0254	0.0042	1.93 n.s
Repeticiones	2	0.0070	0.0035	1.69 n.s.
Error	24	0.0499	0.0021	
Total	38	0.1116		

n.s. = No significativo

* = Diferencias significativas

** = Diferencias altamente significativas

C.V. = 24.11%

Media = 3.80

R² = 0.5526

Anexo N.22 Efecto de las dosis sobre el rendimiento tercera (%).

Dosis	Promedios	Diferencias
1.0	5.33	a
0.5	4.37	ab
0	3.24	b
2.0	2.93	b
1.5	2.78	b

* Promedios con la misma letra no son significantes según la prueba de Duncan al 5%

Anexo N.23 Efecto de las fuentes sobre el rendimiento tercera (%).

Fuentes	Promedios	Diferencias
SOLUBOR	4.57	a
BORATO	3.99	a
BORAX	2.99	a

* Promedios con la misma letra no son significantes según la prueba de Duncan al 5%

Anexo N. 24 Interaccion fuente - dosis sobre el rendimiento tercera (%).

Tratamiento	Promedios	Diferencias
10	6.31	a
11	6.26	ab
3	5.73	abc
5	4.25	abcd
7	3.60	abcd
12	3.59	abcd
2	3.36	abcd
1	3.24	abcd
6	3.16	abcd
9	3.06	abcd
4	2.61	bcd
8	2.04	cd
13	1.45	d

* Tratamientos con la misma letra no son significantes según la prueba de Duncan al 5%

Anexo N.25 Analisis de varianza variable densidad específica.

Fuente de Variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado Medio	F calculado
Traatamientos	12	0.0330	0.0028	1.44 n.s
Fuentes	2	0.0021	0.0011	0.51 n.s
Dosis	3	0.0033	0.0011	0.53 n.s
F*D	6	0.02571	0.0041	2.07 n.s
Repeticiones	2	0.0011	0.0005	0.29 n.s.
Error	24	0.04631	0.0019	
Total	38	0.0808		

n.s. = No significativo

* = Diferencias significativas

** = Diferencias altamente significativas

C.V. = 4.05%

Media = 1.0834

R² = 0.4265

Anexo N.26 Efecto de las dosis sobre la densidad específica (gr/cc).

Dosis	Promedios	Diferencias
1.5	1.0989	a
1.0	1.0894	a
0.5	1.0807	a
2.0	1.0734	a
0	1.0573	a

* Promedios con la misma letra no son significantes según la prueba de Duncan al 5%

Anexo N.27 Efecto de las fuentes sobre la densidad específica (gr/cc).

Fuentes	Promedios	Diferencias
SOLUBOR	1.0927	a
BORAX	1.0891	a
BORATO	1.0749	a

* Promedios con la misma letra no son significantes según la prueba de Duncan al 5%

Anexo N.28 Interaccion fuente - dosis sobre la densidad específica (gr/cc).

Tratamiento	Promedios	Diferencias
12	1.1270	a
10	1.1142	a
4	1.1139	a
7	1.1125	a
6	1.1058	ab
3	1.0858	ab
9	1.0823	ab
5	1.0780	ab
11	1.0698	ab
13	1.0598	ab
1	1.0570	ab
8	1.0558	ab
2	1.0220	b

*Tratamientos con la misma letra no son significantes según la prueba de Duncan al 5%

Anexo N.29 Analisis de varianza variable materia seca.

Fuente de Variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado Medio	F calculado
Tratamientos	12	41.14	3.42	4.14 **
Fuentes	2	2.24	1.12	1.53 n.s
Dosis	3	5.15	1.72	2.34 n.s
F*D	6	26.52	4.42	6.03 **
Repeticiones	2	7.39	3.69	4.47 **
Error	24	19.85	0.8271	
Total	38	68.38		

n.s. = No significativo

* = Diferencias significativas

** = Diferencias altamente significativas

C.V. = 4.74 %

Media = 19.21

R² = 0.7097

Anexo N.30 Efecto de las dosis sobre el contenido de materia seca (%)

Dosis	Promedios	Diferencias
1.5	19.99	a
1.0	19.15	ab
0.5	19.14	ab
2.0	19.07	ab
0	17.73	b

* Promedios con la misma letra no son significantes según la prueba de Duncan al 5%

Anexo N.31 Efecto de las fuentes sobre el contenido de materia seca (%)

Fuentes	Promedios	Diferencias
BORATO	19.57	a
SOLUBOR	19.46	a
BORAX	18.99	a

* Promedios con la misma letra no son significantes según la prueba de Duncan al 5%

Anexo N.32 Interacción fuente - dosis sobre el contenido de materia seca (%).

Tratamiento	Promedios	Diferencias
12	21.32	a
13	19.93	ab
2	19.85	ab
5	19.78	ab
7	19.76	ab
8	19.75	ab
3	19.73	ab
6	18.95	bc
4	18.91	bc
10	18.60	bc
11	17.98	c
1	17.73	c
9	17.51	c

* Tratamientos con la misma letra no son significantes según la prueba de Duncan al 5%

Anexo N.32A Contrastes ortogonales variable materia seca.

Contrastes	DF	Contrastes SS	C.M.	F.C.	Pr > f
LINEAL	1	2.977347	2.977347	4.06	0.046 *
CUADRÁTICA	1	1.983402	1.983402	2.71	0.114 NS
CÚBICA	1	0.190125	0.1901250	0.26	0.615 *

Anexo N.33 Análisis de varianza variable proteína

Fuente de Variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado Medio	F calculado
Traçamientos	12	27.06	2.25	48.56 **
Fuentes	2	8.70	4.35	103.52 **
Doşis	3	6.15	2.05	48.77 **
F*D	6	11.24	1.87	44.55 **
Repeticiones	2	0.10	0.05	1.16 n.s.
Error	24	1.11	0.05	
Total	38	28.28		

n.s. = No significativo

* = Diferencias significativas

** = Diferencias altamente significativas

C.V. = 3.02 %

Media = 7.13

R² = 0.9606

Anexo N.34 Efecto de las dosis sobre el contenido de proteína (%)

Dosis	Promedios	Diferencias
1.5	7.79	a
1.0	6.96	b
0.5	6.88	bc
0	6.72	bc
2.0	6.71	c

* Promedios con la misma letra no son significantes según la prueba de Duncan al 5%

Anexo 35. Efecto de las fuentes sobre el contenido de proteína (%)

Fuentes	Promedios	Diferencias
BORATO	7.78	a
BORAX	6.86	b
SOLUBOR	6.64	c

* Promedios con la misma letra no son significantes según la prueba de Duncan al 5%

Anexo N.36 Interacción fuente - dosis sobre el contenido de proteína (%).

Tratamiento	Promedios	Duncan Grupos
2	8.74	a
8	8.13	b
4	7.96	bc
5	7.51	cd
12	7.28	de
11	7.21	ef
3	6.89	fg
1	6.72	fg
7	6.80	gh
9	6.50	h
13	6.14	i
6	6.00	i
10	5.92	i

* Tratamientos con la misma letra no son significantes según la prueba de Duncan al 0.05%