

UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS
LICENCIATURA EN CIENCIAS AGRÍCOLAS CON ÉNFASIS EN RIEGOS

EVALUACIÓN DE FUENTES DE BORO FOLIAR EN EL RENDIMIENTO DE
TOMATE A CAMPO ABIERTO, EN EL PROGRESO, JUTIAPA
TESIS DE GRADO

NESTOR EUGENIO AARON VASQUEZ NUÑEZ
CARNET 27459-03

JUTIAPA, AGOSTO DE 2015
SEDE REGIONAL DE JUTIAPA

UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS
LICENCIATURA EN CIENCIAS AGRÍCOLAS CON ÉNFASIS EN RIEGOS

EVALUACIÓN DE FUENTES DE BORO FOLIAR EN EL RENDIMIENTO DE
TOMATE A CAMPO ABIERTO, EN EL PROGRESO, JUTIAPA
TESIS DE GRADO

TRABAJO PRESENTADO AL CONSEJO DE LA FACULTAD DE
CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS

POR
NESTOR EUGENIO AARON VASQUEZ NUÑEZ

PREVIO A CONFERÍRSELE
EL TÍTULO DE INGENIERO AGRÓNOMO CON ÉNFASIS EN RIEGOS EN EL GRADO ACADÉMICO DE
LICENCIADO

JUTIAPA, AGOSTO DE 2015
SEDE REGIONAL DE JUTIAPA

AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR

RECTOR: P. EDUARDO VALDES BARRIA, S. J.
VICERRECTORA ACADÉMICA: DRA. MARTA LUCRECIA MÉNDEZ GONZÁLEZ DE PENEDO
VICERRECTOR DE INVESTIGACIÓN Y PROYECCIÓN: ING. JOSÉ JUVENTINO GÁLVEZ RUANO
VICERRECTOR DE INTEGRACIÓN UNIVERSITARIA: P. JULIO ENRIQUE MOREIRA CHAVARRÍA, S. J.
VICERRECTOR ADMINISTRATIVO: LIC. ARIEL RIVERA IRÍAS
SECRETARIA GENERAL: LIC. FABIOLA DE LA LUZ PADILLA BELTRANENA DE LORENZANA

AUTORIDADES DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS

DECANO: DR. ADOLFO OTTONIEL MONTERROSO RIVAS
VICEDECANA: LIC. ANNA CRISTINA BAILEY HERNÁNDEZ
SECRETARIA: ING. REGINA CASTAÑEDA FUENTES
DIRECTOR DE CARRERA: MGTR. LUIS MOISÉS PEÑATE MUNGUÍA

NOMBRE DEL ASESOR DE TRABAJO DE GRADUACIÓN

MGTR. LUIS MOISÉS PEÑATE MUNGUÍA

TERNA QUE PRACTICÓ LA EVALUACIÓN

MGTR. JOSÉ MANUEL BENAVENTE MEJÍA
ING. RONI OSMAN CARRILLO AGUILAR
LIC. WILLIAN JOSE CAMEY VELA

Guatemala, 28 de agosto de 2015.

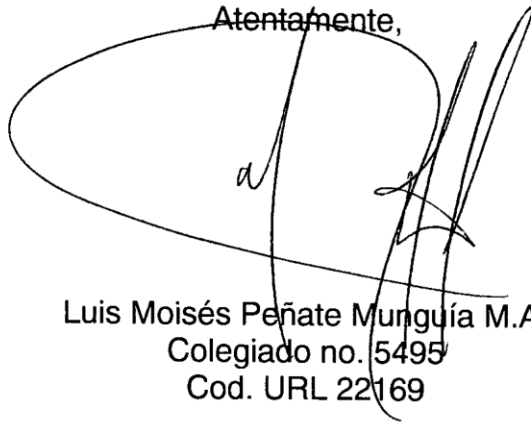
Consejo de Facultad
Ciencias Ambientales y Agrícolas
Presente

Estimados miembros del Consejo:

Por este medio hago constar que he asesorado el trabajo de graduación del estudiante Nestor Eugenio Aarón Vásquez Núñez, carné 27459-03, titulado: "Evaluación de fuentes de boro foliar en el rendimiento de tomate a campo abierto, en El Progreso, Jutiapa".

El cual considero que cumple con los requisitos establecidos por facultad, previo a su autorización de impresión.

Atentamente,

A large, stylized handwritten signature in black ink, consisting of several overlapping loops and lines, positioned above the typed name.

Luis Moisés Peñate Munguía M.A.
Colegiado no. 5495
Cod. URL 22169

Ing. Luis Moisés Peñate Munguía M.A.
Especialista en Protección Vegetal
Colegiado 5495 CIAG

Orden de Impresión

De acuerdo a la aprobación de la Evaluación del Trabajo de Graduación en la variante Tesis de Grado del estudiante NESTOR EUGENIO AARON VASQUEZ NUÑEZ, Carnet 27459-03 en la carrera LICENCIATURA EN CIENCIAS AGRÍCOLAS CON ÉNFASIS EN RIEGOS, de la Sede de Jutiapa, que consta en el Acta No. 0681-2015 de fecha 4 de agosto de 2015, se autoriza la impresión digital del trabajo titulado:

**EVALUACIÓN DE FUENTES DE BORO FOLIAR EN EL RENDIMIENTO DE
TOMATE A CAMPO ABIERTO, EN EL PROGRESO, JUTIAPA**

Previo a conferírsele el título de INGENIERO AGRÓNOMO CON ÉNFASIS EN RIEGOS en el grado académico de LICENCIADO.

Dado en la ciudad de Guatemala de la Asunción, a los 21 días del mes de agosto del año 2015.



**ING. REGINA CASTAÑEDA FUENTES, SECRETARIA
CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS
Universidad Rafael Landívar**



AGRADECIMIENTOS

A:

Dios supremo, por las abundantes bendiciones recibidas a lo largo de mi vida.

La Universidad Rafael Landívar, Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas, por permitirme forjar mi profesión.

Mi asesor MGTR. Luis Moisés Peñate Munguía, por su valioso apoyo en la asesoría, revisión y corrección de la presente investigación.

El agricultor Eddy Zepeda, por confiar parte de su área de trabajo para el desarrollo de la presente investigación.

Mi familia, amigos y compañeros de trabajo, por acompañarme y apoyarme a lo largo de este proceso.

DEDICATORIA

A:

Dios: Ser supremo que llena mi vida de bendiciones y que permite mi bienestar y el de todos los que me rodean, a él el honor y la gloria.

Mis padres: Pedro Porfirio Vásquez (q.e.p.d.) y Ana María Núñez, gracias por su gran amor, sus consejos y lecciones, me llena de orgullo presentarles este logro.

Mis Abuelos: Haroldo Sagastume y Rosa Elvira Barrientos, por su extensión en el papel de padres, su apoyo ha sido fundamental para alcanzar esta meta.

Mi esposa e hijos: Karla Eunice, Nestor Aarón y Haroldo Isaac, por su amor incondicional; ustedes son la razón de ser cada día un mejor esposo y padre. Este triunfo es para ustedes.

Familia en general: Mis hermanos, Harold y Salvador; mis primos, Yalil, Sonia, Wendy, Seidy, Katerin, Cristopher, Gustavo y Gaby; tíos, sobrinos... nuestras vivencias han influido de una u otra manera en mi formación

Mis amigos: Amigos del CEMAS, amigos de la URL y amigos y compañeros de trabajo, ustedes han formado parte integral de mi vida, un saludo especial a aquellos que ya se nos adelantaron a una mejor vida.

ÍNDICE GENERAL

CONTENIDO	PÁGINA
RESUMEN	i
SUMMARY	ii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO	2
2.1. El cultivo de tomate	2
2.1.1 Generalidades botánicas y taxonómicas	2
2.1.2 Agroecología del cultivo	5
2.1.3 Requerimientos edáficos	5
2.1.4 Requerimientos nutricionales	6
2.2. El micronutriente boro	7
2.2.1 El boro en el suelo	7
2.2.2 El boro en la planta	9
2.3. Boro en la planta de tomate	11
2.3.1 Deficiencia de boro	12
2.3.2 Toxicidad por boro	13
2.3.3 Aplicaciones de boro	15
2.4. Fertilización foliar	16
2.4.1 Tipos y propósitos de la fertilización foliar	18
2.4.2 Propósitos de la fertilización foliar	19
2.4.3 Factores que influyen en la fertilización foliar	19
2.4.4 Mecanismos de la absorción foliar	21
2.4.5 Fuentes de fertilizantes foliares	22
2.4.6 Fuentes de boro foliar	25
2.5. Investigaciones realizadas sobre boro en los cultivos de Guatemala	27
III. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	29
3.1. Definición del problema y justificación del trabajo	29
IV. OBJETIVOS	30
V. HIPÓTESIS	31
VI. METODOLOGÍA	32

6.1. Localización del trabajo.....	32
6.2. Material experimental	32
6.3. Factores a estudiar.....	32
6.4. Descripción de los tratamientos	32
6.5. Diseño experimental.....	33
6.6. Modelo estadístico	33
6.7. Unidad experimental	33
6.7.1 Parcela bruta	33
6.7.2 Parcela neta.....	33
6.8. Manejo del experimento	34
6.8.1 Desarrollo de plántulas en pilón.....	34
6.8.2 Preparación del terreno	34
6.8.3 Trasplante.....	34
6.8.4 Tutorado	34
6.8.5 Riego y fertirrigación	34
6.8.6 Fertilización foliar	35
6.8.7 Control de plagas y enfermedades	35
6.8.8 Cosecha.....	35
6.9. Variables respuesta.....	35
6.9.1 Porcentaje de fecundación de flor	35
6.9.2 Rendimiento total de fruto.....	36
6.9.3 Rendimiento de fruto por categoría de tamaño.....	36
6.10. Análisis de la información.....	36
6.10.1 Análisis estadístico	36
6.10.2 Análisis económico	36
VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	37
7.1. Porcentaje de fecundación de flor	37
7.2. Rendimiento total de fruto	39
7.3. Rendimiento de fruto por categoría de tamaño	41
7.3.1 Rendimiento de fruto de primera.....	41
7.3.2 Rendimiento de fruto de segunda.....	43

7.3.3 Rendimiento de fruto de tercera.....	44
7.3.4 Distribución de fruto por categorías de tamaño	45
7.4. Análisis económico.....	46
VIII. CONCLUSIONES	48
IX. RECOMENDACIONES	49
X. BIBLIOGRAFÍA	50
XI. ANEXOS	52

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1: Dosis referenciales de uso de nutrientes para tomate en fertirriego (Kg/ha). .	6
Cuadro 2: Análisis del tejido foliar del tomate, cuando aparece la primera flor. Con base en peso seco.	6
Cuadro 3: Minerales de interés comercial que contienen boro.....	16
Cuadro 4: Principales fuentes de boro utilizadas como materia prima en agricultura. ..	26
Cuadro 5: Descripción de los tratamientos evaluados.....	32
Cuadro 6: Análisis de varianza para Porcentaje de fecundación de flor (%).	37
Cuadro 7: Prueba múltiple de medias Tukey $\alpha = 1\%$ realizada al Porcentaje de fecundación de flor (%).	38
Cuadro 8: Análisis de varianza realizado al Rendimiento total de fruto (kilogramos/hectárea).	39
Cuadro 9: Prueba múltiple de medias Tukey $\alpha = 1\%$, realizada al Rendimiento total de fruto (kilogramos/hectárea).	40
Cuadro 10: Análisis de varianza para Rendimiento de fruto de primera (kilogramos/hectárea).	41
Cuadro 11: Prueba múltiple de medias Tukey $\alpha = 1\%$, realizada al Rendimiento de fruto de primera (kilogramos/hectárea).	42
Cuadro 12: Análisis de varianza para Rendimiento de fruto de segunda (kilogramos/hectárea).	43
Cuadro 13: Análisis de varianza para Rendimiento de fruto de tercera (kilogramos/hectárea).	44
Cuadro 14: Comparativo de la Relación Beneficio/Costo y Rentabilidad obtenidas de los cinco tratamientos evaluados.	47
Cuadro 15: Cronograma de trabajo.	52
Cuadro 16: Costos de producción para 1.0 hectáreas de tomate determinado, a campo abierto y bajo condiciones de riego por goteo, 2014.	53

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Flor del Tomate	3
Figura 2: Diagrama de la flor de Tomate	3
Figura 3: Anatomía de frutos biloculares (a) y multiloculares (b).....	4
Figura 4: Absorción de boro por las plantas en suelos de distinta textura.....	8
Figura 5: Deficiencia de boro en Tomate (Muerte del ápice)	12
Figura 6: Deficiencia de boro en fruto de Tomate.....	13
Figura 7: Síntomas visibles de toxicidad en hojas de plantas de tomate sometidas a 0.5 y 2 mM de boro durante 14 días, comparadas con hojas de plantas control (0.05mM). 14	14
Figura 8: Porcentaje de Fecundación de flor para cada tratamiento (%).....	38
Figura 9: Rendimiento total de fruto para cada tratamiento (kilogramos/hectárea).	40
Figura 10: Rendimiento de fruto de primera para cada tratamiento (kilogramos/hectárea).....	42
Figura 11: Rendimiento de fruto de segunda para cada tratamiento (kilogramos/hectárea).....	44
Figura 12: Rendimiento de fruto de tercera para cada tratamiento (kilogramos/hectárea).	45
Figura 13: Distribución de fruto por categoría tamaños.....	46
Figura 14: Croquis del experimento.....	52
Figura 15: Hoja técnica de producto Solubor, 1 de 4.....	53
Figura 16: Hoja técnica de producto Solubor, 2 de 4.....	53
Figura 17: Hoja técnica de producto Solubor, 3 de 4.....	53
Figura 18: Hoja técnica de producto Solubor, 4 de 4.....	53
Figura 19: Hoja técnica de producto Poliquel Boro.....	53
Figura 20: Hoja técnica de producto NeutralBor.....	53
Figura 21: Hoja técnica de producto Metalosate Boro.....	53
Figura 22: Identificación de racimos florales para cuantificar porcentaje de fecundación de flor.	53
Figura 23: Cosecha, clasificación y pesaje de frutos de tomate.....	53

EVALUACIÓN DE FUENTES DE BORO FOLIAR EN EL RENDIMIENTO DE TOMATE A CAMPO ABIERTO, EN EL PROGRESO, JUTIAPA

RESUMEN

El presente estudio pretende evaluar el efecto de cuatro fuentes de Boro foliar en el rendimiento del cultivo de Tomate (*Solanum lycopersicum*, Solanaceae) a campo abierto. Además del testigo absoluto, los productos evaluados fueron Solubor, Poliquel Boro, NeutralBor y Metalosate Boro. La dosis de cada producto se distribuyó en dos aplicaciones, para una aplicación total de 100 gramos de Boro por hectárea para cada producto. El diseño utilizado en la evaluación es de bloques completos al azar, con cinco tratamientos y cuatro repeticiones. Las variables respuesta fueron porcentaje de fecundación de flor, rendimiento de fruto, tamaño de frutos, relación beneficio costo y rentabilidad. Los resultados obtenidos demuestran que Metalosate Boro, NeutralBor y Poliquel Boro si influyen en el rendimiento del cultivo de tomate a campo abierto. El análisis de varianza y la prueba de Tukey al 1% de significancia demuestran que Metalosate Boro, NeutralBor y Poliquel Boro mejoran el porcentaje de fecundación de flor y el rendimiento total de frutos con respecto al testigo absoluto y Solubor. Así mismo, las aplicaciones de Metalosate Boro y NeutralBor mejoraron el rendimiento de fruto de primera con respecto al testigo absoluto, Solubor y Poliquel Boro, mientras que para rendimiento de fruto de segunda y tercera no se encontró diferencia estadística significativa. Finalmente, el análisis económico reveló que Metalosate Boro presento la mejor relación beneficio costo (2.28) y rentabilidad (227.61%).

EVALUATION OF SOURCES OF FOLIAR BORON IN THE PERFORMANCE OF TOMATO IN FIELD CONDITIONS, EL PROGRESO, JUTIAPA

SUMMARY

This study evaluated the effect of four sources of boron of foliar application in the yield of Tomato (*Solanum lycopersicum*, Solanaceae) in field conditions (not under greenhouse). In addition to the absolute control, the products evaluated were Solubor, Poliquel Boro, NeutralBor and Metalosate Boro. The dose of each product was distributed in two, for a total application of 100 grams of boron per hectare. The design used in the evaluation was complete randomized blocks, with five treatments and four repetitions. The response variables were percentage of fertilization of flower, fruit yield, fruit size, cost-benefit and profitability. The results show that Metalosate Boro, Poliquel Boro and NeutralBor influence the performance of the Tomato crop under the test conditions. The analysis of variance and multiple means according to Tukey (1% of significance) show that Metalosate Boro, Poliquel Boro and NeutralBor improve the percentage of flower fertilization and total fruit yield compared to absolute control and Solubor. Likewise, applications of NeutralBor and Metalosate Boro improved fruit yield of premium quality compared to absolute control, Poliquel Boro and Solubor, while the fruit production of second and third qualities were not statistically significant different. Finally, the economic analysis revealed that Metalosate Boro presented the best cost benefit ratio (2.28) and return (227.61%).

I. INTRODUCCIÓN

El tomate (*Solanum lycopersicum*) es una de las hortalizas de mayor importancia en la agricultura guatemalteca, ya que por su amplia adaptación climática se cultiva a lo largo del territorio guatemalteco, generando el empleo directo en campo de 2,693,628 jornales para el año 2011, un equivalente a 9,620 empleos directos (MAGA, 2013).

El incremento anual en la producción en los últimos años se debe principalmente al uso de nuevas tecnologías que han permitido mejorar la productividad y en menor proporción al aumento de la superficie cultivada. Para la temporada 2013 se estimó una extensión de 2590 hectáreas, con una producción de 77,995,454 kilogramos (MAGA, 2013).

El cultivo de tomate en Guatemala ha alcanzado avanzados niveles de tecnología, cultivándose a lo largo del año tanto en temporada de lluvia como en temporada seca, bajo riego por goteo. También se cultiva bajo diversas tecnologías que permiten un mejor desarrollo del cultivo: tutoreado, *mulch* agrícola, protegido con mantas agrícolas, bajo estructuras de casa malla e invernadero.

En cuanto a fertilización, los programas nutricionales se desarrollan al punto de aplicar elementos puros en etapas específicas del cultivo. En el desarrollo de este trabajo se evaluó el efecto de cuatro fuentes de boro foliar en el rendimiento del cultivo, tomando en cuenta la importancia de este elemento en el momento de la floración y la fecundación de esta.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. El cultivo de tomate

2.1.1. Generalidades botánicas y taxonómicas

Esta planta arbustiva, originaria de América, pertenece a la familia Solanaceae. Comparte su importancia alimenticia con otros cultivos importantes de la misma familia, como la Papa, el Chile y la Berenjena. Siendo una planta perenne, se cultiva como anual, dado que sus rendimientos son comercialmente importantes únicamente durante el primer año. Puede desarrollarse de forma rastrera, semirrecta o erecta, y tener un crecimiento limitado (variedades determinadas) o ilimitado (variedades indeterminadas) (Edifarm Centroamérica, 2003).

Edifarm Centroamérica (2003) reporta que la raíz principal de este cultivo es corta y débil, presentando numerosas y potentes raíces secundarias que pueden llegar hasta 1.80 metros de profundidad. Además, presenta desarrollo de raíces adventicias.

Tiene un tallo principal relativamente delgado (2-4 centímetros de grosor en la base), con tallos secundarios. En la parte distal se encuentra el meristemo apical, donde se inician los nuevos primordios foliares y florales. Sus hojas se disponen de forma alterna sobre el tallo. Son compuestas, con alrededor de 7 a 9 folíolos peciolados, lobulados y con borde dentado. Están recubiertos de pelos glandulares (Edifarm Centroamérica, 2003).

Las variedades de crecimiento determinado tienen forma de arbusto, las ramas laterales son de crecimiento limitado y la producción se obtiene en un periodo relativamente corto. Esta característica es muy importante porque permite concentrar la cosecha en un periodo determinado según sea la necesidad del mercado (Pérez *et al*, 2002).

En las variedades de crecimiento indeterminado el tallo producido a partir de la penúltima yema empuja a la inflorescencia terminal hacia afuera, de tal manera que el tallo lateral parece continuación del tallo principal que le dio origen. Estos cultivares son ideales para establecer plantaciones en invernadero (Pérez *et al*, 2002).

Según Edifarm Centroamérica (2003), el racimo floral o inflorescencia está formado de varios ejes, cada uno de los cuales tiene una flor de color amarillo brillante. El cáliz y la corola están compuestos de cinco sépalos y cinco pétalos, respectivamente. En las variedades determinadas, la inflorescencia se forma a partir del sexto o séptimo nudo, y cada una o dos hojas; en las de hábito indeterminado se forma a partir del séptimo a décimo nudo, y cada cuatro hojas.



Figura 1: Flor del Tomate (Pérez *et al*, 2002).

En los estadios tempranos de desarrollo de la flor, los pétalos están cubiertos por el cáliz. Luego los sépalos se separan y los pétalos son expuestos, puesto que su crecimiento continúa. Primero la corola es amarillo claro, luego en la antesis los pétalos se doblan hacia afuera y su color es amarillo intenso. En este momento las anteras bilobadas quedan expuestas y están soldadas en la base formando un cono que recubre el estilo y el estigma. Las anteras contienen varios cientos de granos de polen que son liberados internamente por aberturas longitudinales (Argerich y Gaviola, 1995).

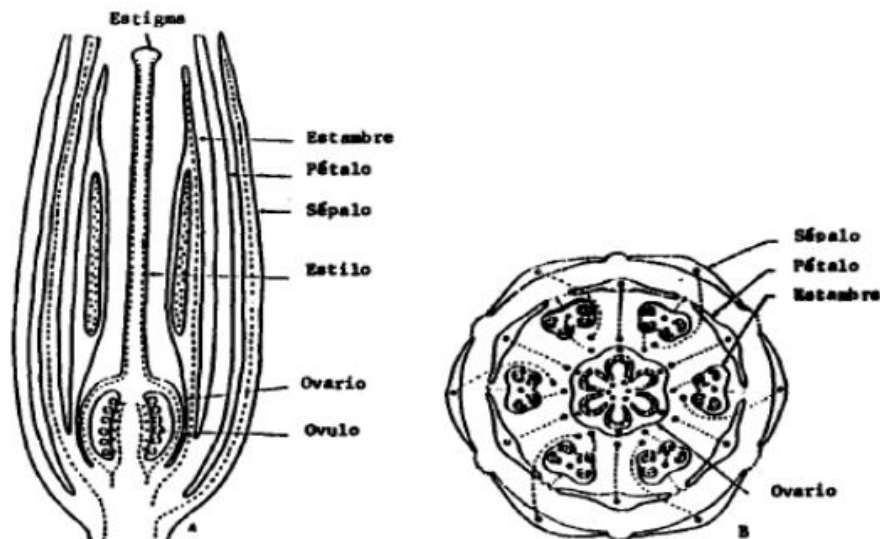


Figura 2: Diagrama de la flor de Tomate (Argerich y Gaviola, 1995).

Las variedades de tomate de crecimiento determinado inician su floración entre los 55 y los 60 días después de sembrados, mientras que las de crecimiento indeterminado, entre los 65 y los 75 días después de la siembra (Pérez *et al*, 2002).

Una flor puede terminar en un fruto de 40 a 400 semillas. Cada grano de polen fecunda un solo óvulo. A mayor cantidad de óvulos fecundados mayor rapidez de crecimiento del fruto y mejor forma del mismo, pero el tamaño de las semillas será menor (Argerich y Gaviola, 1995).

El fruto de tomate es una baya, que presenta diferente tamaño, forma, color, consistencia y composición, según el cultivar que se trate. Interiormente, el fruto presenta divisiones llamadas lóculos, que pueden variar de 1 a 15 o más. En los lóculos se forman las semillas, las que en las últimas etapas de desarrollo aparecen inmersas en una sustancia gelatinosa (Argerich y Gaviola, 1995).

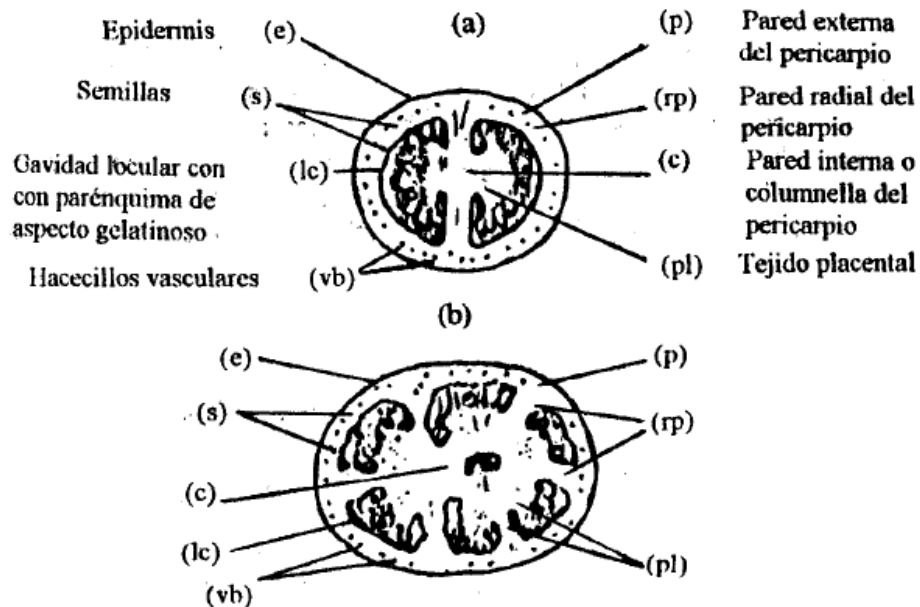


Figura 3: Anatomía de frutos biloculares (a) y multiloculares (b) (Argerich y Gaviola, 1995).

Para que ocurra una buena fecundación (cuaje) de frutos, se requiere que la temperatura nocturna sea menor que la diurna en aproximadamente 6 °C. La temperatura nocturna debe oscilar entre el rango de 13 - 26 °C, para la mayoría de

variedades, pues si la temperatura interna del fruto es mayor a 30 °C se inhibe la síntesis de licopeno (compuesto responsable del color rojo del fruto), produciéndose frutos con maduración y coloración desuniformes

El inicio de la fructificación ocurre entre los 60 a 65 días después de la siembra, y la primera cosecha puede realizarse entre los 75 a 80 días, si la variedad es de crecimiento determinado. Si es indeterminada, la fructificación da inicio entre los 70 a 80 días, y la primera cosecha se realiza entre los 85 a 90 días después de siembra (Pérez *et al*, 2002).

2.1.2. Agroecología del cultivo

El tomate es un cultivo de clima cálido y templado, que no soporta las heladas. La temperatura del suelo debe estar en el rango de los 12° a 16 °C; mientras que la temperatura ambiente para su desarrollo debe estar entre los 21 y 24 °C. Temperaturas más altas o más bajas pueden detener su crecimiento, provocar poco amarre del fruto o aborto de flores. El rango óptimo para la maduración de frutos es de 18 a 24 °C. Por otro lado, para lograr una óptima pigmentación rojiza el rango adecuado de temperatura es de 22 a 28 °C (Edifarm Centroamérica, 2003).

En cuanto a humedad relativa del ambiente, se recomienda un rango de 65 a 85 %. Para el cultivo en invernadero, la humedad debe mantenerse en el rango de 50 a 60 %. Así mismo, el tomate es un cultivo que no requiere cambio en las horas luz recibidas para cumplir con su proceso de crecimiento y desarrollo; sin embargo, requiere de buena iluminación, la cual será modificada según la densidad de siembra, el sistema de poda y el tutoreado (Edifarm Centroamérica, 2003).

2.1.3. Requerimientos edáficos

Según Edifarm Centroamérica (2003), el tomate es una hortaliza tolerante a la acidez, con valores de pH 5.0 – 6.8. En lo referente a salinidad, es medianamente tolerante, con valores máximos de 6400 ppm (10 mmho). El tomate se desarrolla sobre suelos de diversa textura, desde livianos (arenosos) hasta pesados (arcillosos); siendo los

mejores los francos, franco-arenosos, franco-arcillosos y limo-arenosos, con un buen drenaje y profundos. Deben tener un contenido de materia orgánica superior al 3.5 %.

2.1.4. Requerimientos nutricionales

Edifarm Centroamérica (2003) señala que, para obtener un rendimiento de 100 a 120 toneladas por hectárea en el cultivo de tomate, este demanda las siguientes cantidades de nutrientes.

Cuadro 1: Dosis referenciales de uso de nutrientes para tomate en fertirriego (Kg/ha).

HORTALIZA	RENDIMIENTO Ton/ha	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	S	CaO	MgO
TOMATE	100 - 120	250	150	420	50	120	60

(Edifarm Centroamérica, 2003).

Según Edifarm Centroamérica (2003), con el fin de determinar deficiencias de nutrientes y micronutrientes en el cultivo, debe elaborarse un análisis del tejido foliar de la planta. Para esto se recolecta al brotar la primera flor, la hoja madura más reciente. La siguiente tabla presenta información el análisis de tejido foliar del tomate.

Cuadro 2: Análisis del tejido foliar del tomate, cuando aparece la primera flor. Con base en peso seco.

	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Mn	Zn	B	Ca	Mo
	PORCENTAJE (%)						PARTES POR MILLON (ppm)					
Deficiente	<2.8	0.2	2.5	0.8	0.3	0.3	40	30	25	15	5	0.2
Adecuado	2.8-	0.2-	2.5-	0.8-	0.3-	0.3-	40-	30-	25-	15-	5-	0.2-
	4.0	0.4	4.0	2.0	0.5	0.8	100	100	40	40	15	0.6
Alto	4.0	0.4	4.0	2.0	0.5	0.8	100	100	40	40	15	0.6
Toxico								>1500	>300	>250		

(Hochmuth *et al*, 2004).

2.2. El micronutriente boro

2.2.1. El boro en el suelo

Según Cervilla (2009), en la naturaleza se va a encontrar boro en forma de ácido bórico (H_3BO_3), borato $[B(OH)_4]$ o como mineral borosilicato.

Se trata del único micro elemento no metálico. Existe en el suelo como ácido bórico (H_3BO_3), sin carga eléctrica. Es móvil en el suelo, pero está asociado con las arcillas y la materia orgánica. La extracción del boro realmente disponible en el suelo es difícil de determinar químicamente. Cuanto más seco está el suelo, menor es la disponibilidad de boro. Es por esta razón que las aplicaciones foliares durante los meses secos pueden ser necesarias, especialmente en cultivos perennes, como el café (Wade y de Romero, 1995).

Navarro y Navarro (2003), señalan que la fuente principal de boro en el suelo es la turmalina, mineral completamente insoluble y muy resistente al humedecimiento. Desde el punto de vista químico, es un borosilicato que contiene aproximadamente un 3 % de boro y cantidades variables de hierro, aluminio, magnesio, calcio, litio y sodio. La liberación de boro de este material bajo la forma de boratos es lentísima, y ello explica el por qué la turmalina nativa del suelo no puede suministrar las cantidades que los cultivos requieren en régimen intensivo y prolongado.

También, y junto a la materia orgánica procedente de residuos vegetales y animales que puede quedar incorporada al suelo, el agua de mar es una fuente de boro digna de ser mencionada. En las zonas costeras suelen hallarse cantidades de este elemento hasta cincuenta veces superiores a las presentes en suelos interiores (Navarro y Navarro, 2003).

Según Navarro y Navarro (2003), en la mayor parte de los suelos, el boro se encuentra en cantidades extremadamente pequeñas, oscilando generalmente entre 2 y 100 ppm. La mayor parte, sin embargo, no es utilizable por la planta. La forma asimilable (soluble

en agua caliente) solo alcanza un rango comprendido entre 0.4 y 5 ppm, y es suministrada principalmente por la fracción orgánica.

En general, los suelos de textura gruesa son pobres en boro hidrosoluble, ya que de ellos es fácilmente lixiviado y desplazado a las capas más profundas. Esta eliminación depende, como es lógico, del agua que reciban. En cambio, los suelos de textura fina tienden a retener el boro añadido durante periodos de tiempo más largos. Este hecho, sin embargo, no implica necesariamente que las plantas absorban el elemento fijado en las arcillas en cantidades mayores al presente en los arenosos, a iguales concentraciones de boro hidrosoluble. En realidad es al contrario. Se ha comprobado que cuando esto se cumple, las plantas toman mucha más cantidad de boro en suelos arenosos que en suelos de textura fina (Navarro y Navarro, 2003).

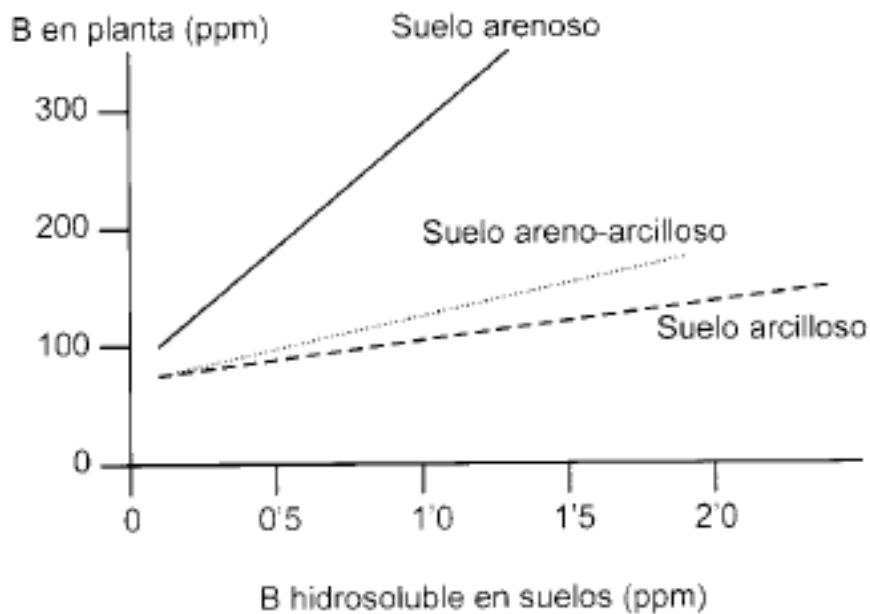


Figura 4: Absorción de boro por las plantas en suelos de distinta textura (Navarro y Navarro, 2003, citando a Wear y Patterson, 1962).

En condiciones de pH bajas, el boro hidrosoluble se encuentra fundamentalmente en forma molecular BO_3H_3 en la disolución del suelo, es decir, está muy poco dissociado y, por tanto, prácticamente no queda adsorbido en los coloides. Esto puede ser la razón por la que este oligoelemento es lixiviado tan fácilmente en estas condiciones. Pero al

aumentar el pH, la adsorción tiende a manifestarse, y va aumentando hasta alcanzar un máximo entre 7 y 9, para disminuir rápidamente con mayores aumentos de alcalinidad, hasta el punto que, a pH igual a 10 ya es mínima (Navarro y Navarro, 2003).

2.2.2. El boro en la planta

El boro es absorbido por la planta en distintas formas del ácido bórico: $B_4O_7^{-2}$, BO_3^{-3} , BO_3H^{-2} o $BO_3H_2^{-}$, bien mediante su aparato radicular o por vía foliar (Navarro y Navarro, 2003).

En cuanto a la captación de boro, éste es absorbido por las raíces a través de la solución del suelo principalmente en forma de ácido bórico. En base a las características químicas del boro, se calcula que el coeficiente teórico de permeabilidad del ácido bórico a través de una bicapa lipídica es de $8 \times 10^{-6} \text{ cm}^{-1}$ (Cervilla, 2009, citando a Hu y Brown, 1997)

Este valor relativamente alto ha sido la causa de que durante mucho tiempo se pensara que el principal o único mecanismo de absorción de boro fuera a través de difusión pasiva. Sin embargo, estudios recientes con *Arabidopsis thaliana* han puesto de manifiesto que el ácido bórico también utiliza canales y transportadores durante su paso por la raíz (Cervilla, 2009, citando a Takano *et al*, 2008).

Se ha observado que bajo condiciones de deficiencia de boro, una proteína integral de membrana denominada NIP5;1 facilita la entrada de boro al interior de las células de la epidermis, el cortex y la endodermis. Por otro lado, un transportador denominado BOR1 se encarga de exportar ácido bórico/borato hacia el xilema. De este modo, mientras que la capacidad del boro para atravesar las membranas podría hacer innecesaria la presencia de un transporte activo, bajo condiciones de deficiencia este resulta esencial y por tanto va a ser inducido (Cervilla, 2009, citando a Takano *et al*, 2008).

El índice de transpiración es un factor importante que influye en la capacidad de la planta de absorber boro y por lo tanto en su estado nutricional. En consecuencia, un

incremento de la temperatura y de la intensidad lumínica va a afectar de manera positiva a la absorción de boro, mientras que un incremento de la humedad relativa va a hacer que disminuya (Cervilla, 2009, citando a Hu y Brown, 1997).

Según Navarro y Navarro (2003), el boro es un elemento que presenta una escasa movilidad en la planta. Esta característica se pone de manifiesto cuando se aplican disoluciones de sales de boro directamente por pulverización; el elemento queda fijado preferentemente en las hojas tratadas.

Se atribuye al boro un importante papel en la circulación de los azúcares en el interior de la planta. Está comprobado experimentalmente que la deficiencia de este elemento provoca una acumulación de azúcares en los tejidos. Este hecho se relaciona con la capacidad complejante que presenta el anión borato con los polialcoholes, y por ello se sugiere que cuando se halla en cantidad adecuada en la planta forma complejos boro-hidratos de carbono, que favorecen la movilidad de azúcar (Navarro y Navarro, 2003).

La influencia del boro en la formación de paredes celulares es un aspecto altamente importante. Está comprobado que las células de las plantas deficientes presentan membranas muchísimo más delgadas que las plantas normales. Hoy se admite con cierta evidencia que ello es debido a la activa influencia del boro sobre las enzimas oxidantes (Navarro y Navarro, 2003).

Aunque se ha demostrado de manera categórica que la división celular no se interrumpe por la deficiencia de boro, por lo que no interviene en este proceso, sin embargo, si se interrumpe el desarrollo y la maduración de las células. De ahí que todo síntoma deficitario de boro se caracterice por un hecho común, cualquiera que sea la planta, y es la destrucción de los meristemas terminales, es decir, la paralización de las zonas en crecimiento (Navarro y Navarro, 2003).

Brown (2007) afirma que el boro es un componente estructural de la pared celular y que su ausencia se traducirá en que la planta cesa su crecimiento. El boro es esencial en

todos los procesos de crecimiento de las plantas, brotes y meristemas. Algo muy importante es que se ha demostrado que tiene un rol crítico en el crecimiento del tubo polínico. La floración y todo el sistema reproductivo son muy sensibles a la disponibilidad de boro.

El rol del boro en floración y esa demanda muy específica por boro en la formación del tubo polínico significa que es muy probable que exista una deficiencia transitoria de boro durante ese momento tan específico, por lo que mantener una oferta constante de boro para la flor es algo muy importante en agricultura. Esta estrategia se utiliza porque es muy difícil prevenir la ocurrencia de la deficiencia y porque una vez que la deficiencia ocurre, los daños son muy altos (Brown, 2007).

Según Brown (2007), cuando el boro se encuentra en niveles que van de suficientes a tóxicos en el suelo, el boro entra en las raíces por difusión junto con la extracción de agua. Cuando las cantidades de boro son limitadas se cree que la planta debe tener un mecanismo que potencie la extracción de boro. Una vez que el boro está en la planta, su movimiento depende mucho de cada especie. En muchas especies, la re-traslocación de boro de tejido en tejido es muy baja y esencialmente, la única fuente de boro es a través de extracción directa desde el suelo o aplicaciones foliares de boro soluble. Por el contrario, hay varias especies en que el boro es altamente móvil y el transporte de tejido en tejido, de raíz a brote y de brote a raíz es extremadamente rápido.

2.3. Boro en la planta de tomate

Es esencial para la buena polinización, favorece el cuajado de flores y frutos y el desarrollo de la semilla. Interviene en la división celular, traslocación de azúcares, almidones y metabolismo de carbohidratos y proteínas (Pérez *et al*, 2002).

2.3.1. Deficiencia de boro

Su carencia perturba el crecimiento celular, provocando la muerte en los puntos de crecimiento, tanto en el tallo como en la raíz. Se observa también un retraso en el desarrollo de las yemas florales, desintegración del tejido radicular y destrucción y ennegrecimiento de los tejidos más blandos (Pérez *et al*, 2002).

Los síntomas de deficiencia de boro pueden ser descritos como elongación anormal o retardada de los puntos de crecimiento o meristemos apicales. Las hojas pierden su forma, se arrugan, se engruesan y oscurecen. Las hojas y los tallos son quebradizos debido a una pobre formación de la pared celular. En plantas monocotiledóneas, las hojas se giran en forma de espiral o se tuercen. En plantas dicotiledóneas, la punta de la hoja no se formará completamente o tendrá malformaciones. Las dicotiledóneas requieren tres a cuatro veces más boro que las monocotiledóneas (Brown, 2007).



Figura 5: Deficiencia de boro en Tomate (Muerte del ápice) (Pérez *et al*, 2002).



Figura 6: Deficiencia de boro en fruto de Tomate (Agrológica, 2011).

Brown (2007) señala que las deficiencias de boro son comunes en muchos países. Son más comunes en suelos volcánicos, suelos ácidos derivados de rocas ígneas y en suelos calcáreos.

Si bien en los análisis foliares se habla de niveles normales de Boro entre 30 y 80 ppm, para que en la flor se produzca una adecuada fecundación, es decir una óptima germinación del polen y un óptimo crecimiento del tubo polínico, se requiere de un adecuado nivel de boro, que debiera estar sobre 100 ppm a nivel floral y que muchas veces la planta no es capaz de surtirle a la flor. Por eso se debe recurrir a aplicaciones exógenas, pero no se debe olvidar que además debe haber un normal desarrollo y crecimiento del tubo polínico (Compo, 2014).

2.3.2. Toxicidad por boro

Según Navarro y Navarro (2003), los suelos con cantidades tóxicas para la vegetación son escasos en número, y suelen presentarse solo en regiones áridas o en zonas regadas con aguas ricas en boro.

La toxicidad por exceso de boro puede ser provocada por tres causas principalmente: aplicación excesiva del oligoelemento para su absorción por la planta (valores superiores a 3 kilogramos de boro por hectárea), posible acumulación en el suelo de materiales originarios ricos en minerales de boro, y elevadas concentraciones en el

agua de riego. Esta última causa puede perjudicar notablemente algunos cultivos. Se estima que un contenido en agua superior a 2 ppm la hace inutilizable para riego (Navarro y Navarro, 2003).

El exceso de boro produce clorosis y quemaduras en los bordes de las hojas y los tejidos adquieren un color negro oscuro, corteza hinchada, frutos deformes que maduran prematuramente (Pérez *et al*, 2002).

El síntoma visible más común en las plantas expuestas a un exceso de boro es la presencia de quemaduras, que aparecen como parches cloróticos y/o necróticos a menudo en los márgenes y en las puntas de las hojas maduras (Cervilla, 2009).

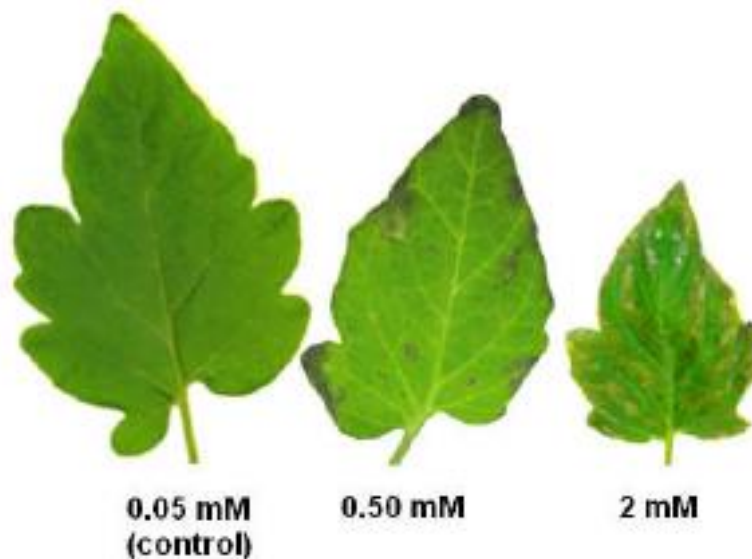


Figura 7: Síntomas visibles de toxicidad en hojas de plantas de tomate sometidas a 0.5 y 2 mM de boro durante 14 días, comparadas con hojas de plantas control (0.05mM) (Cervilla, 2009).

Cervilla (2009), dice que en definitiva, independientemente de la especie, el exceso de boro va a producir un retraso del desarrollo y una reducción del crecimiento de la planta, así como del número, tamaño y peso de los frutos. Este fenómeno, que se traduce en una disminución del rendimiento de los cultivos, ocurre como consecuencia de la alteración que a nivel fisiológico o metabólico produce el exceso de boro en las células vegetales.

2.3.3. Aplicaciones de boro

Los cultivos varían ampliamente en sus necesidades y en su tolerancia al boro. Sin embargo, el rango entre deficiencia y toxicidad es muy estrecho, más estrecho que cualquier otro nutriente esencial. Por lo tanto, el boro debe ser utilizado muy cuidadosamente, especialmente en rotaciones con cultivos con diferente sensibilidad al boro (Inpofos, 1997).

Según Inpofos (1997), el boro se puede aplicar al suelo al voleo o en banda, también se pueden hacer aspersiones foliares de una solución de boro. Las cantidades en cultivos con buena respuesta al boro pueden ser de hasta 3 kilogramos de boro por hectárea y en cultivos de baja y media respuesta, de 0.5 a 1 kilogramo de boro por hectárea.

Según Brown (2007) se debe mantener un aporte constante de boro durante los periodos de crecimiento del cultivo y de los frutos. Si esto se puede lograr a través de aplicaciones al suelo, está muy bien. Sin embargo, los fertilizantes al suelo se van a ver afectados por la falta de humedad del suelo o la falta de extracción durante algunas etapas de la actividad de la planta que no coincidan con la etapa de extracción. Es por esta razón que se utiliza boro foliar en frutales de nuez en los que la floración comúnmente es anterior a un periodo de alta extracción de nutrientes desde el suelo.

Wade y de Romero (1995) recomiendan la aplicación de boro al suelo a razón de 1 kilogramo por hectárea, aplicado en una única dosis. La planta necesita de este microelemento en cantidades muy pequeñas, por lo que usualmente si se puede suplir por vía foliar. La recomendación para la aplicación foliar es de 0.10 kilogramos por hectárea, la dosis que debe ser proporcionada en dos o tres aplicaciones durante todo el ciclo de cultivo.

Aunque existen unos 200 tipos de minerales que contienen boro solo unos pocos son de importancia comercial, destacando el bórax, la kernita, la colemanita y ulexita que son extraídos de manera extensiva (Cervilla, 2009).

Cuadro 3: Minerales de interés comercial que contienen boro.

Mineral	Composición química	Boro (%)
Boracita	$Mg_6B_{14}O_{26}Cl_2$	19.30
Colemanita	$Ca_2B_6O_{11}.5H_2O$	15.78
Datolita	$CaBSiO_4.OH$	6.76
Hydroboacita	$CaMgB_6O_{11}.6H_2O$	15.69
Kernita	$Na_2B_4O_7.4H_2O$	14.90
Priceita	$Ca_4B_{10}O_{19}.7H_2O$	15.48
Proberita	$NaCaB_5O_9.5H_2O$	15.39
Sassolita	H_3BO_3	17.48
Szaibelyita	$MgBO_2.OH$	12.85
Borax (Tincal)	$Na_2B_4O_7.10H_2O$	11.34
Tincalconita	$Na_2B_4O_7.5H_2O$	15.16
Ulexita	$NaCaB_5O_9.58H_2O$	13.34

(Cervilla, 2009, citando a Lyday, 2000).

Cervilla (2009), citando a Parks y Edwards (2005), dice que de ellos se suele utilizar como fertilizante el bórax y el ácido bórico, siendo este último aplicado directamente tanto al suelo como a las hojas.

2.4. Fertilización foliar

Meléndez y Molina (2003) afirman que la fertilización foliar es el principio de aplicación de nutrientes a través del tejido foliar, principalmente a través de las hojas, que son los órganos donde se concentra la mayor actividad fisiológica de la planta. La fertilización foliar es una excelente alternativa para aplicar micronutrientes, los cuales son requeridos en cantidades muy pequeñas por las plantas. También puede servir de complemento para el suministro de elementos mayores durante ciertos periodos definidos de crecimiento de la planta, aunque en este caso la aspersión foliar no puede sustituir la fertilización al suelo como sucede con los micronutrientes.

La fertilización foliar se ha practicado desde hace muchos años. En 1844 se reporta que en Francia se aplicaba sulfato ferroso en el follaje de la vid para corregir la clorosis en las plantas. También se tenían noticias de que en muchas partes del sur de Europa la fertilización foliar era conocida por los agricultores, quienes la practicaban ampliamente. Esta práctica posteriormente se hizo intensiva en otras partes del mundo, en donde los agricultores habían visto efectos benéficos en el incremento de rendimiento y calidad del producto (Aguilar y Trinidad, 2000).

La fertilización foliar no sustituye la fertilización al suelo, pero sí constituye una práctica recomendada para complementar la nutrición edáfica y para suplir ciertos nutrimentos durante etapas críticas del cultivo o de gran demanda nutricional, tales como la floración y el llenado de granos y frutos. Bajo ciertas condiciones de cultivo y suelo, la fertilización foliar ha resultado ser ventajosa en comparación con el abonamiento al suelo (Meléndez y Molina, 2003).

La fertilización foliar también es un medio apropiado para aplicar nutrimentos a los cultivos durante períodos de estrés causados por diversas razones, tales como la sequía, el encharcamiento, heladas, aplicación de agroquímicos, etcétera. Las condiciones de suelos que limitan el crecimiento y función de las raíces, tales como el drenaje, toxicidad de aluminio, salinidad, etcétera, afectan la absorción radical de nutrimentos, siendo en estos casos la fertilización foliar un medio más efectivo para suplir los elementos esenciales (Meléndez y Molina, 2003).

Actualmente se sabe que la fertilización foliar puede contribuir en la calidad y en el incremento de los rendimientos de las cosechas, y que muchos problemas de fertilización al suelo se pueden resolver fácilmente mediante la fertilización foliar (Aguilar y Trinidad, 2000, citando a Fregoni, 1986).

2.4.1. Tipos y propósitos de la fertilización foliar

Meléndez y Molina (2003), citando a Boaretto y Rosolem (1989), indican que, de acuerdo con el propósito que se persigue, la fertilización foliar se puede dividir en seis categorías:

a. Fertilización correctiva

Es aquella en la que se suministran elementos para superar deficiencias evidentes, generalmente se realiza en un momento determinado y su efecto es de corta duración cuando las causas que la provocan no son corregidas (Meléndez y Molina, 2003).

b. Fertilización preventiva

Se realiza cuando se conoce que determinado nutrimento es deficiente en el suelo y que a través del mismo su aplicación no es efectiva, tal como la aplicación de Zinc en cítricos, café y arroz; y de Boro en hortalizas, crisantemos, claveles, y otros (Meléndez y Molina, 2003).

c. Fertilización sustitutiva

Es aquella en la cual se pretende sustituir las exigencias del cultivo exclusivamente por vía foliar. El ejemplo más típico es la piña, la cual posee una alta capacidad de absorción foliar a través de la hojas. Sin embargo, en la mayoría de los casos es poco factible suplir a las plantas todos sus requerimientos nutritivos utilizando exclusivamente la vía foliar debido a la imposibilidad de aplicar dosis altas de macronutrientes (Meléndez y Molina, 2003).

d. Fertilización complementaria

Consiste en aplicar una fracción del abono al suelo y otra al follaje, generalmente en ésta última se utiliza micronutrientes. Es uno de los métodos más utilizados en una gran cantidad de cultivos (Meléndez y Molina, 2003).

e. Fertilización complementaria en estado reproductivo

Puede realizarse en aquellos cultivos anuales en los cuales durante la floración y llenado de semillas y frutas, la fuerza metabólica ocasionada por ellos reduce la actividad radicular lo suficiente como para limitar la absorción de iones requeridos por la planta. Como ejemplo se puede citar la fertilización foliar de tomate, chile, papa, melón, etcétera (Meléndez y Molina, 2003).

f. Fertilización estimulante

Consiste en la aplicación de formulaciones con N-P-K en las cuales los elementos son incluidos en bajas dosis, pero en proporciones adecuadas fisiológicamente equilibradas, las cuales inducen un efecto estimulatorio sobre la absorción radicular. Este tipo de abonamiento es recomendado para plantaciones de alta productividad, de buena nutrición, sin deficiencias de elementos. Generalmente se realiza en periodos de gran demanda nutricional, o en períodos de tensiones hídricas (Meléndez y Molina, 2003).

2.4.2. Propósitos de la fertilización foliar

Según Meléndez y Molina (2003), los propósitos de la fertilización foliar son:

- a. Corregir en forma rápida deficiencias nutritivas.
- b. Superar la falta de habilidad de las raíces para absorber los nutrimentos necesarios para su normal crecimiento.
- c. Suministrar los nutrimentos adecuados para la producción de frutos y semillas.
- d. Disminuir pérdidas de nutrimentos en el suelo por fijación y lixiviación.

2.4.3. Factores que influyen en la fertilización foliar

Para el buen éxito de la fertilización foliar es necesario tomar en cuenta tres factores, los de la planta, ambiente y formulación foliar. En relación a la formulación foliar, la concentración de la sal portadora del nutrimento, el pH de la solución, la adición de coadyuvantes y el tamaño de la gota del fertilizante líquido, del nutrimento por asperjar se cita su valencia y el ion acompañante, la velocidad de penetración y la traslocabilidad del nutrimento dentro de la planta (Aguilar y Trinidad, 2000, citando a Kovacs, 1986).

Del ambiente se debe de considerar la temperatura del aire, el viento, la luz, la humedad relativa y la hora de aplicación. De la planta se ha de tomar en cuenta la especie del cultivo, estado nutricional, etapa de desarrollo de la planta y edad de las hojas (Aguilar y Trinidad, 2000, citando a Kovacs, 1986).

A continuación se desglosa la importancia de algunos de ellos:

a. pH de la solución

La característica de la solución por asperjar es de primordial importancia en una práctica de fertilización foliar. El pH de la solución y el ion acompañante del nutrimento por aplicar influyen en la absorción de éste en la hoja (Aguilar y Trinidad, 2000).

b. Surfactantes y adherentes

La adición de surfactantes y adherentes a la solución favorece el aprovechamiento del fertilizante foliar. El mecanismo de acción de un surfactante consiste en reducir la tensión superficial de las moléculas de agua, permitiendo una mayor superficie de contacto con la hoja, un adherente permite una mejor distribución del nutrimento en la superficie de la hoja, evitando concentraciones de este elemento en puntos aislados cuando la gota de agua se evapora (Aguilar y Trinidad, 2000, citando a Kovacs, 1986).

c. Nutrimento y el ion acompañante en la aspersion

La absorción de nutrimentos está relacionada con la capacidad de intercambio catiónico de la hoja, y la valencia del ion influye en este intercambio. Los iones K^+ y NH_4^+ requieren solo un H^+ en el intercambio, mientras que el Ca^{2+} y el Mg^{2+} requieren de dos H^+ , por lo tanto los iones monovalentes penetran con mayor facilidad que los iones con mayor número de valencias (Aguilar y Trinidad, 2000).

d. Concentración de la solución

La concentración de la sal portadora de un nutrimento en la solución foliar, varía de acuerdo con la especie de la planta. En general, los cereales soportan mayores concentraciones que algunas otras especies como el frijol, pepino, tomate y otras hojas

menos cutinizadas, pero posiblemente sean las más eficientes en absorción foliar (Aguilar y Trinidad, 2000).

e. Temperatura, luz, humedad relativa y hora de aplicación

La temperatura influye en la absorción de nutrimentos vía aspersion foliar. La luz es un factor importante en la fotosíntesis y para que una planta pueda incorporar nutrimentos en los metabolitos se requiere de un proceso fotosintéticamente activo en la planta. La humedad relativa influye en la velocidad de evaporación del agua que se aplica. Por consiguiente, una alta humedad relativa del medio favorece la penetración de los nutrimentos al mantener húmeda la hoja. Este último factor está muy relacionado con la hora de aplicación, la cual debe de practicarse o muy temprano o en las tardes, según las condiciones de la región (Aguilar y Trinidad, 2000, citando a Swietlik y Faust, 1984).

f. Edad de la planta y hoja

La aplicación foliar de los nutrimentos también está afectada por el estado de desarrollo de la planta. Se indica, aunque existen pocos datos, que las plantas y hojas jóvenes son las que tienen mayor capacidad de absorción de nutrimentos vía aspersion foliar, y desde luego, deben tener un déficit de esos nutrimentos en su desarrollo. Entre especies también hay diferencias, y posiblemente esta diferencia esté fundamentalmente influenciada por el grado de cutinización, lignificación y la presencia de ceras en la hoja, habrá menor facilidad de absorción del nutrimento (Aguilar y Trinidad, 2000, citando a Swietlik y Faust, 1984).

2.4.4. Mecanismos de la absorción foliar

La hoja es el órgano principal de absorción foliar de nutrimentos, de ahí la importancia de conocer su estructura. La hoja presenta una cutícula (membrana lipoidal), que es un obstáculo para la absorción. Debajo de la cutícula se encuentran las células de la epidermis, cubiertas por una delgada capa de pectina. La absorción de nutrimentos a través de la hoja es un proceso de múltiples pasos, e involucra la absorción superficial, penetración pasiva a través de la cutícula, y absorción activa por las células de las hojas debajo de la cutícula (Meléndez y Molina, 2003).

La cutícula foliar es más permeable a los cationes que a los aniones. La hidratación de la cutícula permite que ésta se expanda, apartando las concreciones cerosas sobre su superficie y facilitando con ello la penetración. Una vez que los nutrientes pasan la cutícula, se encuentran con las membranas celulares de la epidermis, que presentan prolongaciones plasmáticas o ectocitodos, antiguamente llamados ectodesmos (Melendez y Molina, 2003).

Los ectocitodos son espacios interfibrilares que aparecen en las paredes celulares que rodean espacios llenos de aire. Los ectocitodos forman un continuo que se extiende desde la parte externa de las membranas celulares hasta el límite interno de la cutícula, sin penetrar en ella. Su función principal es la de servir de vía para la excreción de sustancias, a la vez que permiten el paso de productos al exterior. Cuando los nutrientes se encuentran en los ectocitodos, son translocados a las células epidérmicas por un proceso complejo de difusión y mediante gasto de energía metabólica. Un número alto de ectocitodos, una cutícula delgada y una gran área superficial, favorecen la penetración de nutrientes vía foliar (Meléndez y Molina, 2003).

Los agentes humectantes favorecen la absorción porque disminuyen la tensión superficial de las gotas. Los agentes tenso activos pueden desplazar el aire que se encuentra en los estomas permitiendo la entrada de los nutrientes (Meléndez y Molina, 2003).

2.4.5. Fuentes de fertilizantes foliares

Según Meléndez y Molina (2003), las características principales que debe tener una fuente para la fertilización foliar es que sea muy soluble en agua y que no cause efecto fitotóxico al follaje. Las fuentes de fertilizantes foliares se pueden dividir en dos grandes categorías: sales minerales inorgánicas, y quelatos naturales y sintéticos, que incluye complejos naturales orgánicos. Estas fuentes se formulan en polvos o cristales finos de alta solubilidad en agua, y en presentaciones líquidas.

a. Sales minerales inorgánicas

Las principales fuentes inorgánicas son yacimientos o minas naturales de óxidos, carbonatos y sales metálicas como sulfatos, cloruros y nitratos. Los óxidos como ZnO_2 , Cu_2O y MnO_2 , pueden ser utilizados, sin embargo su disponibilidad para las plantas es muy baja ya que son compuestos muy insolubles. Las sales fueron los primeros fertilizantes foliares que se utilizaron y están constituidos principalmente por cloruros, nitratos y sulfatos. En comparación con otras fuentes, las sales son de menor costo, pero deben tomarse precauciones para su aplicación por el riesgo de causar quema o fitotoxicidad al follaje (Meléndez y Molina, 2003).

b. Quelatos

Los quelatos son sustancias que forman parte de muchos procesos biológicos esenciales en la fisiología de las plantas, como por ejemplo en el transporte de oxígeno y en la fotosíntesis. Muchas de las enzimas catalizadoras de reacciones químicas son quelatos. Otros ejemplos de quelatos biológicos naturales incluyen a la clorofila y la vitamina B 12. La palabra “quelato” proviene del griego “chele” que significa tenaza (Meléndez y Molina, 2003).

Meléndez y Molina (2003) dicen que un quelato es un compuesto orgánico de origen natural o sintético, que puede combinarse con un catión metálico y lo acompleja, formando una estructura heterocíclica. Los cationes metálicos son ligados en el centro de la molécula, perdiendo sus características iónicas. El quelato protege al catión de otras reacciones químicas como oxidación-reducción, inmovilización, precipitación, etc.

El proceso de quelación de un catión neutraliza la carga positiva de los metales permitiendo que el complejo formado quede prácticamente de carga 0. Esto es una ventaja para facilitar la penetración de iones a través de la cutícula foliar cargada negativamente, y de esta forma no hay interferencia en la absorción por efecto de repulsión o atracción de cargas eléctricas. De esta forma los quelatos pueden ser absorbidos y translocados más rápidamente que las sales debido a su estructura que los hace prácticamente de carga neta 0 (Meléndez y Molina, 2003).

Esta mayor velocidad de absorción a través de la cutícula constituye una ventaja comparativa con relación a las fuentes de sales porque hay menor riesgo de pérdida del nutrimento por lavado y aumenta la eficiencia para la corrección de deficiencias. Sin embargo, su costo es más alto que las sales y la concentración de nutrimentos es más baja, debido a que los agentes quelatantes tienen una capacidad limitada para acomplejar cationes (Meléndez y Molina, 2003).

c. Quelatos sintéticos

Los quelatos sintéticos usualmente tienen una alta estabilidad. Uno de los primeros agentes sintéticos utilizados en fertilización foliar fue el EDTA (Ácido etilendiaminotetracético). El EDTA es un agente muy versátil que forma complejos con metales catiónicos de gran estabilidad. Es muy utilizado en la industria química y alimenticia, como componente de jabones, para retener el color de frutas enlatadas, y retener el sabor de salsas y mayonesas, etcétera. (Meléndez y Molina, 2003).

Los agentes quelatantes más fuertes, tales como el EDTA, son usados también en aplicaciones al suelo, ya que su alta estabilidad impide que el catión metálico se pierda fácilmente. El EDTA es uno de los agentes quelatantes de mayor uso en la industria de fertilizantes foliares. Otros quelatos sintéticos incluyen el DTPA y EDDHA. La mayoría de los quelatos sintéticos se utilizan para acomplejar micronutrimentos (Meléndez y Molina, 2003).

d. Quelatos orgánicos de cadenas cortas

Meléndez y Molina (2003) dicen que los quelatos orgánicos de cadenas cortas son agentes acomplejantes muy débiles, de poca estabilidad y baja efectividad. Algunos ejemplos son los ácidos cítrico, ascórbico y tartárico.

e. Quelatos orgánicos naturales

Los quelatos orgánicos naturales presentan diferentes grados de efectividad como agentes quelatantes, ubicándose la mayoría de ellos como acomplejantes intermedios.

Estos agentes incluyen poliflavonoides, lignosulfatos, aminoácidos, ácidos húmicos, ácidos fúlvicos, polisacáridos, etcétera (Meléndez y Molina, 2003).

Algunas de las fuentes orgánicas naturales son fabricadas por la reacción de sales metálicas con subproductos, principalmente aquellos derivados de la industria de la pulpa de madera tales como fenoles, lignosulfatos y poliflavonoides. Estos subproductos son bastante complejos por lo que la naturaleza de las reacciones no es muy clara y podría ser similar al de los quelatos (Meléndez y Molina, 2003).

En los últimos años estas fuentes han tomado gran interés debido a su naturaleza orgánica y que la mayoría son de origen natural. Poseen poco riesgo de causar fitotoxicidad, lo que los hace más apropiados para aplicación foliar, y muchos de ellos tienen propiedades estimulantes del crecimiento y desarrollo vegetal. Los ácidos húmicos y fúlvicos, y los aminoácidos o proteínas hidrolizadas, los carbohidratos, son algunos de los quelatos orgánicos más utilizados (Meléndez y Molina, 2003).

2.4.6. Fuentes de boro foliar

Según Brown (2007), La mayoría de las formulaciones de boro son muy solubles y el boro pasa fácilmente a través de las membranas para llegar hasta los tejidos casi independientemente de la formulación. Sobre esta base, casi ningún producto podría ser considerado particularmente destacado. Otros factores, eso sí, como la facilidad del manejo, el efecto en el pH de la mezcla y la presencia de otros nutrientes pueden influenciar la decisión de que producto usar.

El borax, la Colemanita y el Solubor han sido los productos básicos para la aplicación de fertilizantes de boro al suelo durante décadas. Las aplicaciones al suelo (como fertilizantes directos o mezclados con NPK's) han dominado el mercado hasta los años ochenta, cuando se lanzaron productos líquidos para aplicaciones foliares (Brown, 2007).

Cuadro 4: Principales fuentes de boro utilizadas como materia prima en agricultura.

Nombre de la materia prima	Fórmula	% de boro (p/p)	Solubilidad
Borax	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	11.5	10.4%
Tetraborato de sodio	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	14	13%
Tetraborato de Sodio (anhidro)	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$	20	Baja
Octaborato de sodio	$\text{Na}_2\text{B}_8\text{O}_{13} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	21	Baja
Solubor (parcial mente anhidro)	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 5\text{H}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{B}_{10}\text{O}_{16} \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	20.5	Alta
Ácido bórico	H_3BO_3	17.5	Id
Frits de boro	$\text{Na}_2\text{B}_4 \times \text{H}_2\text{O}$	10-17	Baja
Etanolamina de Boro	- - -	10-11	10-11%
Colemanita	$\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	11-13	1.5%
Pentaborato de amonio	$\text{NH}_4\text{B}_5\text{O}_8 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	19.9	7%
Ulexita	$\text{NaCaB}_5\text{O}_6(\text{OH})_6 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	12	- - -

(Brown, 2007).

Según Brown (2007), los productos foliares a base de boro son formulados a partir de ácido bórico, poliboratos de sodio o alguna combinación de ambos. Los fertilizantes basados en poliboratos de sodio normalmente son una mezcla de diferentes formas de boratos de variadas composiciones químicas.

Cuando el ácido bórico o los poliboratos de sodio son mezclados con agua producen las mismas dos especies químicas de boro disuelto: una molécula no desasociada de ácido bórico y un anión de borato con carga negativa. La cantidad de moléculas de ácido bórico en la solución es inversamente proporcional a la cantidad de moléculas de borato, y las proporciones relativas de ambas están determinadas por el pH. En la medida que el pH aumenta, el ácido bórico se convierte en borato. En la medida que el pH disminuye, el borato se vuelve a transformar en ácido bórico (Brown, 2007).

Según Brown (2007), es importante entender que el pH del agua con la que se va a aplicar el producto, y no la forma original del boro que viene en el producto fertilizante, es quien va a determinar la forma de boro que va a estar presente en la aplicación foliar.

El mercado se ha vuelto cada vez más competitivo, principalmente porque la mayoría de los productos líquidos ofrecen la misma concentración de boro (11 % en peso/peso; equivalente a 15% en peso/volumen) y son, por lo tanto, muy difíciles de diferenciar. La competitividad y la penetración del mercado no solo dependen del precio con el que los formuladores consiguen materias primas como ácido bórico o, por ejemplo, monoetanolamina. También dependen de otros factores como la facilidad del manejo, efectos en el pH de la mezcla y la presencia de otros nutrientes y/o adyuvantes para lograr una mejor penetración de otros productos como los aminoácidos (Brown, 2007).

2.5. Investigaciones realizadas sobre boro en los cultivos de Guatemala

Al hacer una revisión de investigaciones realizadas en Guatemala sobre aplicaciones de boro y su efecto en los cultivos se comprueba que no hay muchos trabajos que estudien este microelemento de manera independiente. De hecho, de los pocos trabajos al respecto, casi en todos ellos se encuentra que al evaluar formulaciones con base de boro, éstas también incluyen otros nutrientes, regularmente calcio y/o zinc, lo que dificulta establecer el efecto atribuible al boro como única fuente de variación.

Se encontró un estudio que mide de forma independiente el efecto del boro, desarrollado por Bonilla (2002), quien evaluó el efecto de la carga floral y niveles de boro foliar (usando como fuente Solubor) sobre la calidad de semilla de geranio para exportación. Sin embargo, al evaluar aspersiones foliares de 0.14, 0.56 y 1.40 ppm de boro se determinó que no tuvo efecto significativo sobre los porcentajes de calidad exportable de semilla.

Quiñonez (2006), documento la experiencia de aplicación de foliar de boro (en prefloración) y zinc (en postfloración) y su efecto en la productividad y calidad del cultivo

de café en finca La Planta, en Esquipulas, Chiquimula. Al aplicar el producto a base de boro al 4.5 % a una dosis de 1.43 litros por hectárea (64.35 gramos por hectárea de boro) y el producto a base de zinc al 6 % a una dosis de 1.43 litros por hectárea (85.8 gramos por hectárea de zinc) se redujo el porcentaje de grano maduro vano en un 32.93%. Se redujo de 668 a 636 el número de granos por kilogramo, lo que sugiere un mayor tamaño de granos maduros. Finalmente, el factor de conversión de café maduro a pergamino seco se redujo de 5.20 a 4.92, una mejora en la conversión de 5.38 %.

Este último trabajo sugiere que hubo un efecto positivo a las aplicaciones foliares de boro y zinc en las dosis indicadas, aunque como se dijo antes, el efecto no puede ser atribuido exclusivamente a la aplicación de boro, ya que este también se acompañó de una aplicación de zinc.

III. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

3.1. Definición del problema y justificación del trabajo

Entre los principales micronutrientes, el boro tiene gran importancia porque su deficiencia ocurre en muchos tipos de suelos en todo el mundo. Una de las características fundamentales del déficit de boro en la agricultura es que su carencia inhibe los tejidos de crecimiento de las plantas, especialmente las estructuras reproductivas, las que presentan el 80 % de los productos agrícolas mundiales (Brown, 2007).

Dada la morfología del cultivo de tomate, la obtención de frutos depende directamente de la calidad de la floración y el porcentaje de amarre de la misma. Ahora se sabe que el micronutriente boro tiene una gran importancia en la germinación del polen y crecimiento del tubo polínico y por lo tanto, en el porcentaje de flor fecundada, incidiendo directamente en la producción final. Al encontrarse el boro en niveles deficientes, la producción de tomate se ve reducida, llegando el momento en que si la deficiencia es extrema se suprime la floración.

El boro es un elemento que presenta un estrecho rango entre deficiencia y toxicidad. Así mismo, este nutriente presenta problemas de absorción cuando es aplicado al suelo. Esto, sumado al desconocimiento por parte del agricultor de la importancia del boro en el desarrollo del cultivo justifican el desarrollo de esta investigación, en la que se pretendió establecer la respuesta del cultivo de tomate a las aplicaciones de diferentes fuentes de boro aplicadas vía foliar.

IV. OBJETIVOS

General

Evaluar el efecto de cuatro fuentes de boro foliar en el rendimiento del cultivo de tomate a campo abierto.

Específicos

- Establecer el efecto de las fuentes de boro en el porcentaje de fecundación de flor.
- Identificar el efecto de las fuentes de boro en el rendimiento total de fruto del cultivo de tomate.
- Determinar el efecto de las fuentes de boro en el rendimiento de fruto por categoría de tamaño.
- Establecer la relación beneficio costo y la rentabilidad para cada fuente de boro.

V. HIPÓTESIS

Hipótesis nula (H₀):

Ninguno de los tratamientos presentará diferencia estadísticamente significativa en el rendimiento del cultivo de tomate a campo abierto.

Hipótesis alternativa (H_a):

Por lo menos uno de los tratamientos presentará diferencia estadísticamente significativa en el rendimiento del cultivo de tomate a campo abierto.

VI. METODOLOGÍA

6.1. Localización del trabajo

Este estudio se llevó a cabo en Laguna de Retana, la cual se ubica en el municipio de El Progreso, departamento de Jutiapa. Sus coordenadas son: Latitud Norte 14° 23' 56'' y Longitud Oeste 89° 50' 52''. Se encuentra a una altura de 1,050 metros sobre el nivel del mar. La temperatura media anual es de 24.15 °C, con una precipitación pluvial media de 1,000 milímetros anuales, distribuidos de mayo a octubre. La humedad relativa media anual es del 75%. Holdridge (1979) indica que la zona ecológica corresponde a bosque seco subtropical. Simmons (1959) clasifica los suelos de la Laguna de Retana en la serie Chicaj, con suelos arcillosos y de drenaje deficiente.

6.2. Material experimental

El experimento se desarrolló sobre plantas de un híbrido de tomate de crecimiento determinado y frutos tipo pera, llamado Silverado.

6.3. Factores a estudiar

Fuentes de boro foliar.

6.4. Descripción de los tratamientos

Cuadro 5: Descripción de los tratamientos evaluados.

No.	Tratamiento (producto comercial)	Fuente de boro	Dosis por hectárea	Aporte de Boro
T1	Testigo absoluto	- - -	- - -	0 gramos
T2	Solubor (20.5 % de boro)	Octaborato disódico tetrahidratado	488 gramos	100 gramos
T3	Poliquel Boro (9 % de boro)	Ácido bórico	1.11 litros	100 gramos
T4	NeutralBor (10 % de boro)	Ácido bórico	1.00 litros	100 gramos
T5	Metalosate Boro (5 % de boro)	Tetraborato de sodio	2.00 litros	100 gramos

La dosis utilizada para cada tratamiento se distribuyó en dos aplicaciones, la primera a los 25 días después del trasplante y la segunda 10 días después.

6.5. Diseño experimental

El diseño utilizado en la presente investigación fue el de bloques completos al azar (DBCA), con cinco tratamientos y cuatro repeticiones.

6.6. Modelo estadístico

Su modelo estadístico es $Y_{ij} = \mu + T_i + B_j + E_{ij}$

Dónde:

Y_{ij} = Variable respuesta del i-esimo tratamiento y la j-esima repetición.

μ = Efecto de la media general.

T_i = Efecto del i-esimo tratamiento.

B_j = Efecto del j-esimo bloque.

E_{ij} = Efecto del error experimental asociado a la ij-esima unidad experimental.

6.7. Unidad experimental

6.7.1. Parcela bruta

Cada parcela bruta tuvo una extensión de 24 metros cuadrados, y estuvo compuesta por cuatro surcos, de 5 metros de largo y distanciados a 1.20 metros entre sí, con una planta a cada 0.40 metros. Se contó con 50 plantas en cada parcela bruta.

6.7.2. Parcela neta

La parcela neta fue de 9.6 metros cuadrados, esta se obtuvo descartando los surcos laterales y 0.5 metros de los extremos de los surcos, para un total de 20 plantas por parcela neta.

6.8. Manejo del experimento

6.8.1. Desarrollo de plántulas en pilón

Para el cultivo de tomate, el trasplante de plántulas en pilón es el método de siembra más eficiente, por lo que se planificó la siembra de la semilla en las bandejas de pilón con 35 días de anticipación. Esta actividad se delegó a una empresa especializada en la producción de plántulas en pilón.

6.8.2. Preparación del terreno

Se realizó quince días antes del trasplante. Esta actividad comprendió la aradura del terreno a 0.35 metros de profundidad, así como dos pasadas de rastra para obtener un suelo mullido. Posteriormente se procedió al surqueado, levantando surcos distanciados a 1.20 metros. Para finalizar esta etapa, se extendieron los laterales de goteo y se procedió a la cobertura del surco con *mulch* agrícola.

6.8.3. Trasplante

El trasplante a campo definitivo se llevó a cabo en horas frescas del día. Se aplicó un riego profundo previo al trasplante, para que la planta encontrara condiciones óptimas en el suelo. Se manejó una densidad de siembra de 20,833 plantas por hectárea, en un marco de plantación con surcos a 1.20 metros y plantas sobre el surco a 0.40 metros.

6.8.4. Tutorado

Esta actividad se realizó con el propósito de brindar soporte a la planta de tomate. Se instalaron varas de bambú de 1.75 metros de altura. La distancia entre tutores fue de 1.50 metros. A medida que la planta de tomate se fue desarrollando se fue colocando niveles de pita, aproximadamente a cada 0.25 metros.

6.8.5. Riego y fertirrigación

El cultivo se desarrolló bajo condiciones de riego por goteo, iniciando el calendario de riego con un día de anticipación al trasplante. Básicamente, se realizaron riegos diarios con una lámina aproximada de 7 milímetros. El sistema de riego por goteo permite la

aplicación de los fertilizantes al suelo vía fertirriego, lo que permitió el ahorro de mano de obra e hizo más eficiente la aplicación de los fertilizantes.

6.8.6. Fertilización foliar

La aplicación de micronutrientes se realizó por vía foliar. El calendario de aplicaciones inició a los 15 días después del trasplante, cuando las plantas presentaron una mayor superficie foliar. La aplicación de fertilizantes foliares con boro se realizó a los 25 y 35 días después del trasplante, para suplir la dosis de boro en los momentos previos a la floración.

6.8.7. Control de plagas y enfermedades

Para el control de plagas y enfermedades se siguió un programa preventivo, principalmente contra larvas de lepidópteros y minadores, así como evitar la transmisión de virus por parte de la mosca blanca. En cuanto a enfermedades, se hicieron aplicaciones puntuales de fungicidas curativos contra *Phytophthora infestans*, *Alternaria solani*, *Botrytis cinerea*, así también, la aplicación de bactericidas contra *Pseudomonas sp.* y *Xantomonas sp.*

6.8.8. Cosecha

La cosecha se realizó de forma gradual, haciéndose tres cortes en total. La cosecha inicio a los 95 días del trasplante, momento en el cual se clasificó el fruto en diferentes categorías (primera, segunda y tercera) según su tamaño.

6.9. Variables respuesta

6.9.1. Porcentaje de fecundación de flor

El porcentaje de fecundación de flor se obtuvo luego de identificar 20 racimos florales por planta. Identificados los racimos florales, se contó la cantidad de frutos obtenidos y se dividió entre el número de flores emitidas.

6.9.2. Rendimiento total de fruto

Esté se obtuvo tomando el rendimiento total de fruto al final de la cosecha. Este valor se expresó en kilogramos por hectárea.

6.9.3. Rendimiento de fruto por categoría de tamaño

Se determinó al momento de la cosecha. Para el tamaño de frutos se realizó la siguiente clasificación:

Fruto de Primera: Mayor de 7.5 centímetros de longitud.

Fruto de Segunda: Entre 5 a 7.5 centímetros de longitud.

Fruto de Tercera: Menor de 5 centímetros de longitud.

Se determinó el peso de frutos de primera, segunda y tercera, con relación al rendimiento total en kilogramos por hectárea.

6.10. Análisis de la información

6.10.1. Análisis estadístico

La información que se recopiló para las tres variables respuesta se analizó mediante un análisis de varianza (ANDEVA) y la prueba múltiple de medias Tukey $\alpha = 1\%$, por ser más estricta.

6.10.2. Análisis económico

El análisis económico se realizó tomando en cuenta la relación beneficio costo y la rentabilidad para cada tratamiento. La relación beneficio costo se obtuvo utilizando la siguiente fórmula: $RBC = \text{Ingreso Neto} / \text{Costo Neto}$. La rentabilidad se obtuvo con la siguiente fórmula: $\text{Rentabilidad} = (\text{Ingreso Neto} / \text{Costo Neto}) * 100$.

VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1. Porcentaje de fecundación de flor

Esta variable se obtuvo luego de haber identificado 20 racimos florales por planta, de los cuales se obtuvo el porcentaje de flores fecundadas.

El cuadro 6 presenta los resultados del análisis de varianza para porcentaje de fecundación de flor, el cual demostró que para tratamientos hay alta significancia estadística.

Cuadro 6: Análisis de varianza para Porcentaje de fecundación de flor (%).

F. V.	G. L.	S. C.	C. M.	F. C.	F. TAB.	
					0.05	0.01
Tratamientos	4	0.0284	0.0071	11.6130	2.9010	4.5560
Bloques	3	0.0026	0.0009	1.4314	3.2870	5.4170
Error	12	0.0073	0.0006			
Total	19	0.0384				
C.V	3.8996					

** Alta significancia estadística.

El coeficiente de variación obtenido es de 3.8996%, el cual estadísticamente se considera aceptable.

Para establecer diferencias entre tratamientos se realizó la prueba múltiple de medias Tukey $\alpha = 1\%$. El cuadro 7 indica que los tratamientos T5 (Metalosate Boro), T4 (NeutralBor) y T3 (Poliquel Boro) pertenecen al grupo A, presentando el mayor porcentaje de fecundación de flor. Así mismo, los tratamientos T4 (NeutralBor), T3 (Poliquel Boro), T2 (Solubor) y T1 (Testigo absoluto) pertenecen al grupo B, con un menor porcentaje de fecundación de flor.

Cuadro 7: Prueba múltiple de medias Tukey $\alpha = 1\%$ realizada al Porcentaje de fecundación de flor (%).

No.	Tratamiento	Presentación
1	T5 (Metalosate® Boro)	A
2	T4 (NeutralBor®)	A B
3	T3 (Poliquel® Boro)	A B
4	T2 (Solubor®)	B
5	T1 (Testigo absoluto)	B

*Tratamientos con diferente literal representan diferencia estadísticamente significativa.

La figura 8 presenta las medias del porcentaje de fecundación de flor para cada tratamiento. Se observó una respuesta positiva a la aplicación de boro en el porcentaje de fecundación de flor, aunque esta puede variar de acuerdo al tipo de fuente utilizada. El tratamiento T5 (Melalosate Boro) presentó el porcentaje más alto (70%). En tanto el tratamiento T4 (NeutraBor) y el tratamiento T3 (Poliquel Boro) ocuparon el segundo lugar con 64%. Los tratamientos T2 (Solubor) y T1 (Testigo absoluto) presentaron el menor porcentaje de fecundación, con 61% y 59%, respectivamente.

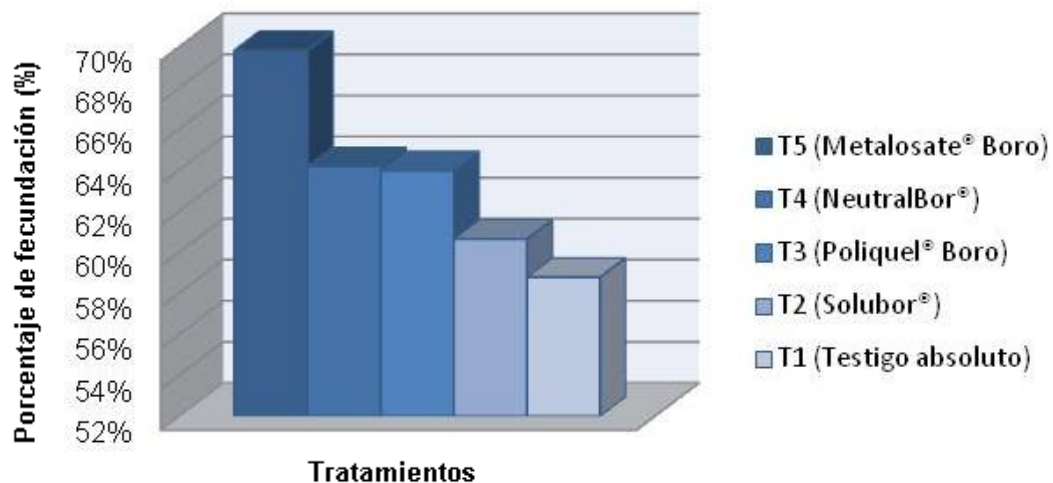


Figura 8: Porcentaje de Fecundación de flor para cada tratamiento (%).

7.2. Rendimiento total de fruto

El cuadro 8 presenta el análisis de varianza para el rendimiento total de fruto, expresado en kilogramos/hectárea, en dónde se obtuvo alta significancia estadística para los tratamientos.

Cuadro 8: Análisis de varianza realizado al Rendimiento total de fruto (kilogramos/hectárea).

F. V.	G. L.	S. C.	C. M.	F. C.	F. TAB.	
					0.05	0.01
Tratamientos	4	329928014.5650	82482003.6413	9.0688	2.9010	4.5560
Bloques	3	24354612.0389	8118204.0130	0.8926	3.2870	5.4170
Error	12	109141194.6827	9095099.5569			
Total	19	463423821.2867				
C.V	4.5373					

** Alta significancia estadística.

El coeficiente de variación obtenido es de 4.5373%, el cual estadísticamente se considera aceptable.

Para establecer diferencias entre tratamientos se realizó la prueba múltiple de medias Tukey $\alpha = 1\%$. El cuadro 9 presenta a los tratamientos T5 (Metalosate Boro), T4 (NeutralBor) y T3 (Poliquel Boro) en el grupo A, los cuales obtuvieron el mayor rendimiento total de fruto. Así mismo, los tratamientos T4 (NeutralBor), T3 (Poliquel Boro), T2 (Solubor) y T1 (Testigo absoluto) se muestran en el grupo B, presentando el menor rendimiento total de fruto. Estos resultados tienen una relación directa con el porcentaje de fecundación de flor, debido a que a un mayor número de flores fecundadas es mayor el rendimiento total de fruto. Así mismo, una flor con mayor cantidad de óvulos fecundados resultará en un fruto de mayor peso y tamaño.

Cuadro 9: Prueba múltiple de medias Tukey $\alpha = 1\%$, realizada al Rendimiento total de fruto (kilogramos/hectárea).

No.	Tratamiento	Presentación
1	T5 (Metalosate® Boro)	A
2	T4 (NeutralBor®)	A B
3	T3 (Poliquel® Boro)	A B
4	T2 (Solubor®)	B
5	T1 (Testigo absoluto)	B

*Tratamientos con diferente literal representan diferencia estadísticamente significativa.

La figura 9 presenta las medias del rendimiento total de fruto para cada tratamiento. El tratamiento T5 (Metalosate Boro) presentó el rendimiento más alto (72,666.92 kilogramos/hectárea). En tanto el tratamiento T4 (NeutralBor) con una media de 68,303.83 kilogramos/hectárea y el tratamiento T3 (Poliquel Boro) con 66,879.85 kilogramos/hectárea ocuparon el segundo y tercer lugar, respectivamente. Los tratamientos T2 (Solubor) y T1 (Testigo absoluto) presentaron el menor rendimiento, con 63,786.86 y 60,695.05 kilogramos/hectárea, respectivamente.

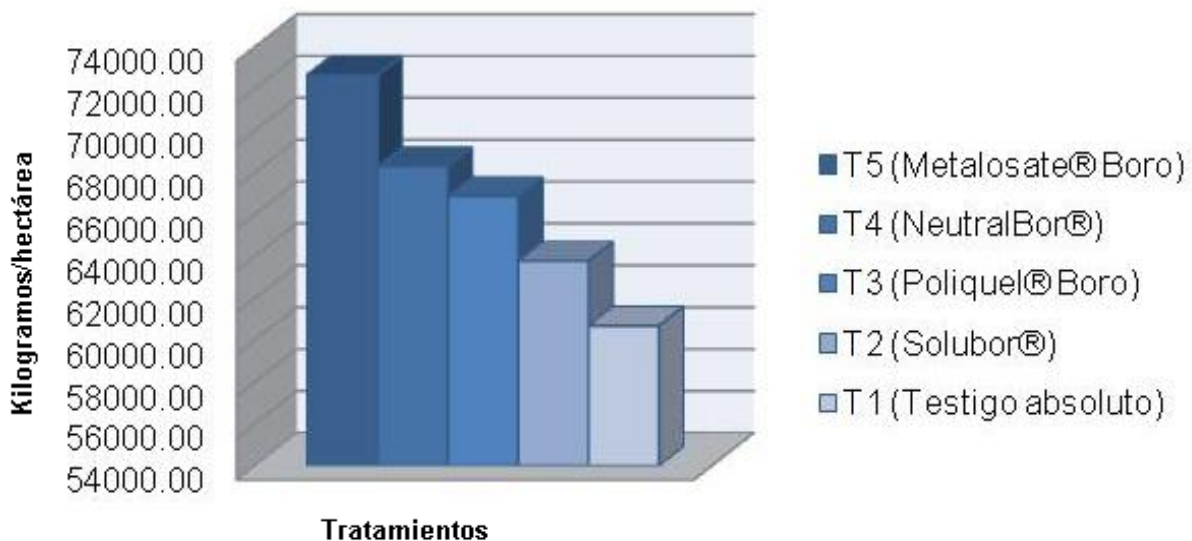


Figura 9: Rendimiento total de fruto para cada tratamiento (kilogramos/hectárea).

7.3. Rendimiento de fruto por categoría de tamaño

Durante la cosecha, el fruto se clasificó en tres tamaños: Primera, Segunda y Tercera para cada tratamiento, se obtuvo el peso de fruto para cada tamaño.

7.3.1. Rendimiento de fruto de primera

El cuadro 10 presenta el análisis de varianza para el rendimiento de fruto de primera, expresado en kilogramos/hectárea, en dónde se obtuvo alta significancia estadística para los tratamientos.

Cuadro 10: Análisis de varianza para Rendimiento de fruto de primera (kilogramos/hectárea).

F. V.	G. L.	S. C.	C. M.	F. C.	F. TAB.	
					0.05	0.01
Tratamientos	4	434296416.7526	108574104.1882	7.9190	2.9010	4.5560
Bloques	3	56294686.0741	18764895.3580	1.3686	3.2870	5.4170
Error	12	164526585.1739	13710548.7645			
Total	19	655117688.0006				
C.V	9.2936					

** Alta significancia estadística.

El coeficiente de variación obtenido es de 9.2936%, el cual estadísticamente se considera aceptable.

Para establecer diferencias entre tratamientos se realizó la prueba múltiple de medias Tukey $\alpha = 1\%$. El cuadro 11 presenta a los tratamientos T5 (Metalosate Boro) y T4 (NeutralBor) en el grupo A, con el mayor rendimiento de fruto de primera. Así mismo, los tratamientos T4 (NeutralBor), T3 (Poliquel Boro), T2 (Solubor) y T1 (Testigo absoluto) se presentan en el grupo B, con menores rendimientos de fruto de primera. Acá se observa que T5 (Metalosate Boro) y T4 (NeutralBor) se separan del resto de tratamientos, por lo que se puede asumir que estos productos entregan de una manera más eficiente a la planta el boro dentro de su formulación

Cuadro 11: Prueba múltiple de medias Tukey $\alpha = 1\%$, realizada al Rendimiento de fruto de primera (kilogramos/hectárea).

No.	Tratamiento	Presentación
1	T5 (Metalosate® Boro)	A
2	T4 (NeutralBor®)	A B
3	T3 (Poliquel® Boro)	B
4	T2 (Solubor®)	B
5	T1 (Testigo absoluto)	B

*Tratamientos con diferente literal representan diferencia estadísticamente significativa.

La figura 10 presenta las medias del rendimiento de fruto de primera para cada tratamiento. El tratamiento T5 (Metalosate Boro) presentó el mayor rendimiento de fruto de primera (45,476.43 kilogramos/hectárea). En tanto el tratamiento T4 (NeutralBor) con una media de 43,281.50 kilogramos/hectárea y el tratamiento T3 (Poliquel Boro) con 41,293.85 kilogramos/hectárea ocuparon el segundo y tercer lugar, respectivamente. Los tratamientos T2 (Solubor) y T1 (Testigo absoluto) presentaron el menor rendimiento, con 36,516.93 y 32,642.47 kilogramos/hectárea, respectivamente. Se observa la misma tendencia que en el porcentaje de fecundación de flor, por lo que se puede asumir que los tratamientos del nivel A (Metalosate Boro y NeutralBor) entregan de manera más eficiente el boro a los órganos en crecimiento (ápices, flores, frutos y semillas), en comparación con los demás tratamientos.

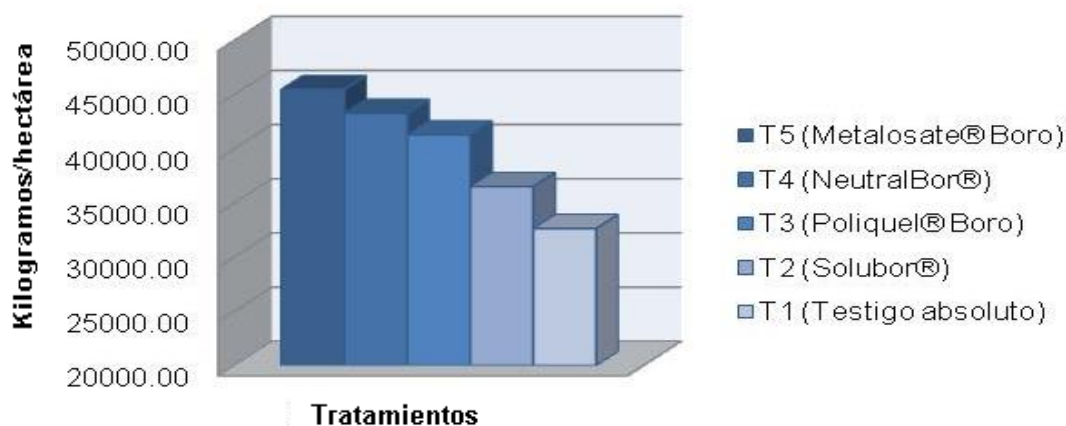


Figura 10: Rendimiento de fruto de primera para cada tratamiento (kilogramos/hectárea).

7.3.2. Rendimiento de fruto de segunda

El cuadro 12 presenta el análisis de varianza para el rendimiento de fruto de segunda, expresado en kilogramos/hectárea, en dónde no se obtuvo significancia estadística para los tratamientos.

Cuadro 12: Análisis de varianza para Rendimiento de fruto de segunda (kilogramos/hectárea).

F. V.	G. L.	S. C.	C. M.	F. C.	F. TAB.	
					0.05	0.01
Tratamientos	4	17060819.0222	4265204.7555	0.2758 ^{NS}	2.9010	4.5560
Bloques	3	74034438.2238	24678146.0746	1.5959	3.2870	5.4170
Error	12	185566631.9768	15463885.9981			
Total	19	276661889.2228				
C.V	17.0554					

^{NS} No significancia estadística entre tratamientos.

El coeficiente de variación obtenido es de 17.0554%, el cual estadísticamente se considera aceptable.

Al no haberse encontrado diferencias estadísticas significativas entre tratamientos en el cuadro 12 no se realizó la prueba múltiple de medias Tukey $\alpha = 1\%$ de significancia. Esta situación indica claramente que los diferentes tratamientos no tienen efecto en el rendimiento de fruto de segunda.

La figura 11 ordena las medias de rendimiento de fruto de segunda de mayor a menor. El tratamiento T5 (Metalosate Boro) obtuvo el mayor valor con 24,816.72 kilogramos/hectárea. Le siguen en su orden T1 (Testigo absoluto) con 22,977.85 kilogramos/hectárea, T2 (Solubor) con 22,874.87 kilogramos/hectárea, T3 (Poliquel Boro) con 22,351.44 kilogramos/hectárea y finalmente T4 (NeutralBor) con 22,262.43 kilogramos/hectárea.

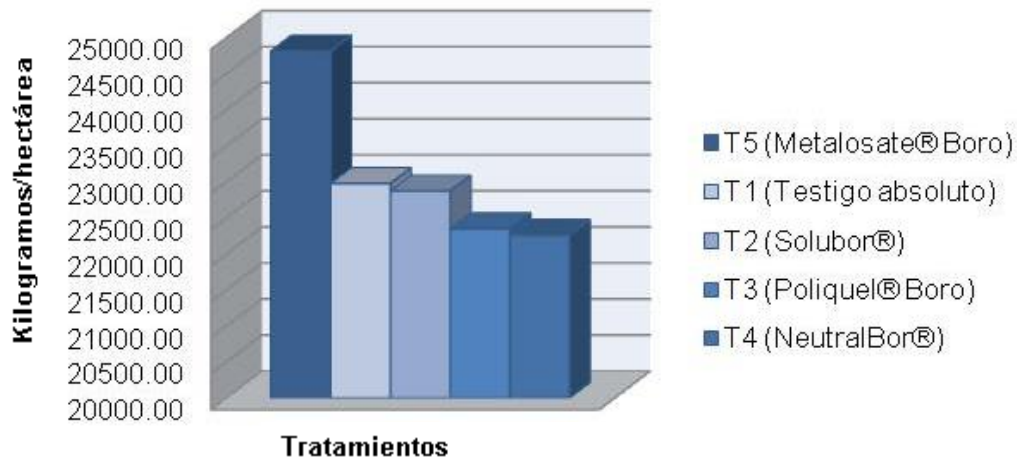


Figura 11: Rendimiento de fruto de segunda para cada tratamiento (kilogramos/hectárea).

7.3.3. Rendimiento de fruto de tercera

El cuadro 13 presenta el análisis de varianza para el rendimiento de fruto de tercera, expresado en kilogramos/hectárea, en dónde no se obtuvo significancia estadística para los tratamientos.

Cuadro 13: Análisis de varianza para Rendimiento de fruto de tercera (kilogramos/hectárea).

F. V.	G. L.	S. C.	C. M.	F. C.	F. TAB.	
					0.05	0.01
Tratamientos	4	20578495.6742	5144623.9185	1.1604	2.9010	4.5560
Bloques	3	9416453.7078	3138817.9026	0.7080	3.2870	5.4170
Error	12	53200347.0738	4433362.2562			
Total	19	83195296.4558				
C.V	59.0187					

^{NS} No significancia estadística entre tratamientos.

El coeficiente de variación obtenido es de 59.0187%, el cual estadísticamente se considera inaceptable.

Al no haberse encontrado diferencias estadísticas significativas entre tratamientos en el cuadro 13 no se realizó la prueba múltiple de medias Tukey $\alpha = 1\%$ de significancia. Al igual que para fruto de segunda, esto demuestra que los tratamientos no tuvieron ningún efecto en el rendimiento de fruto de tercera.

La figura 12 presenta en orden descendente las medias de rendimiento de fruto de tercera. T1 (testigo absoluto) ocupa el primer lugar con 5,074.73 kilogramos/hectárea. Le siguen en su orden T2 (Solubor) con 4,395.05 kilogramos/hectárea, T3 (Poliquel Boro) con 3,234.56, kilogramos/hectárea, T4 (NeutralBor) con 2,759.90 kilogramos/hectárea y finalmente T5 (Metalosate Boro) con 2,373.78 kilogramos/hectárea.

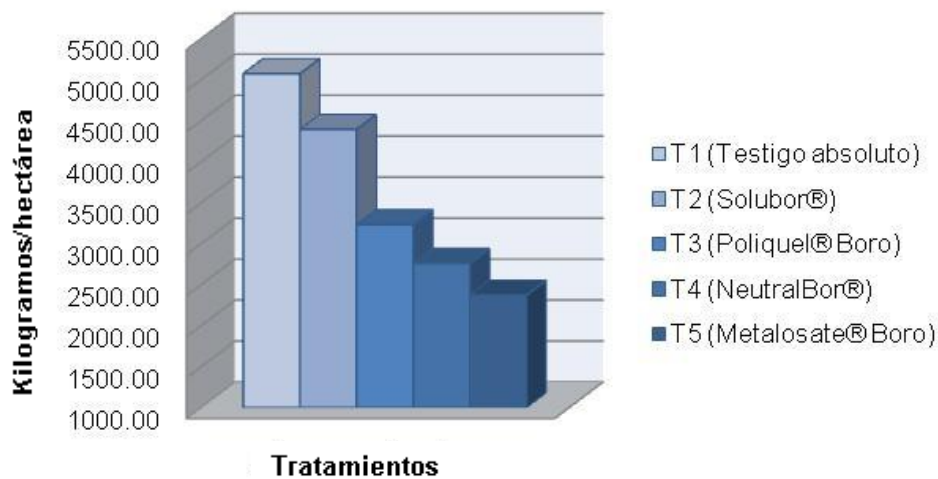


Figura 12: Rendimiento de fruto de tercera para cada tratamiento (kilogramos/hectárea).

7.3.4. Distribución de fruto por categorías de tamaño

El figura 13 presenta la distribución en porcentaje para cada categoría de tamaño de fruto. Los tratamientos se presentan en orden descendente, en relación al porcentaje de fruto de primera con relación al rendimiento total de fruto para cada tratamiento. De esta forma, el tratamiento T4 (NeutralBor) con 63.37% ocupa el primer lugar, seguido de T5 (Metalosate Boro) con 62.58%, T3 (Poliquel Boro) con 61.74%. Los tratamientos T2 (Solubor) con 57.25% y T1 (Testigo absoluto) con 53.78% presentaron los menores

porcentajes de fruto de primera. En cuanto a los porcentajes de fruto de segunda y fruto de tercera, estos no presentan un orden definido, lo que sugiere que los tratamientos no ejercieron ningún efecto en estas variables.

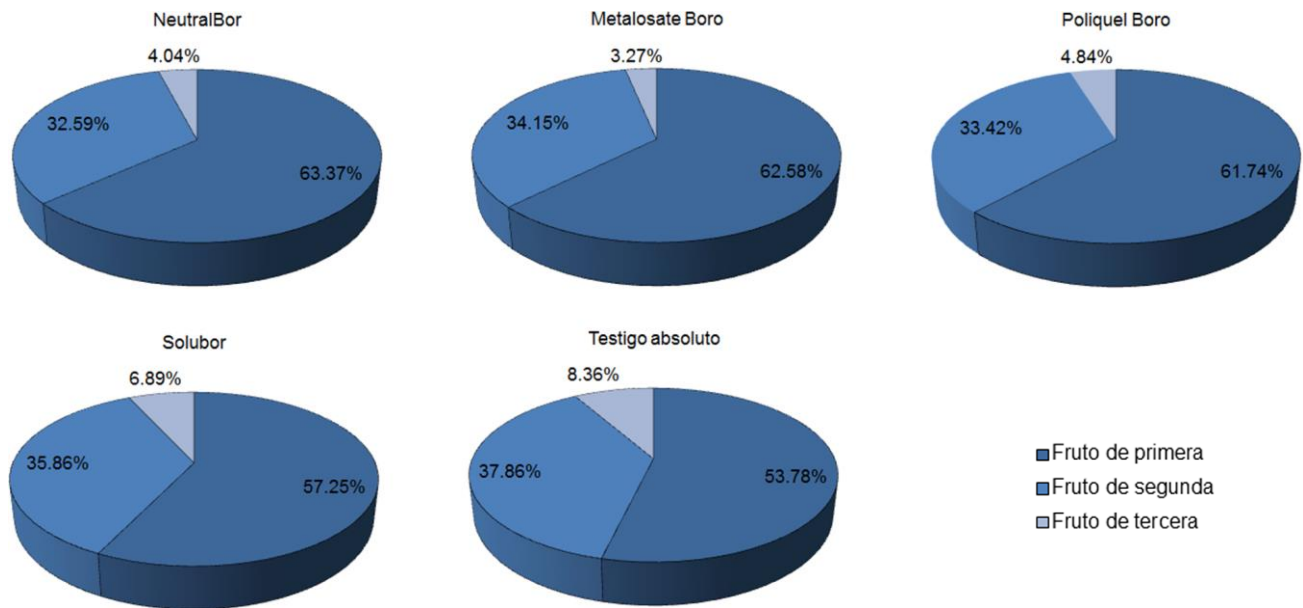


Figura 13: Distribución de fruto por categoría tamaños.

7.4. Análisis económico

El análisis económico se realizó en función de los resultados obtenidos en el rendimiento total de frutos y el rendimiento de frutos por categoría de tamaño. La relación Beneficio/Costo y la rentabilidad se determinaron utilizando los datos de los ingresos obtenidos por la comercialización del rendimiento y los costos incurridos en la producción para los cinco tratamientos incluidos en la investigación.

El fruto de tomate se comercializó a un precio promedio ponderado de Q4.10 por kilogramo de fruto, obteniéndose así la relación existente entre los tratamientos, partiendo de los precios que se registraron al momento de la cosecha, siendo para el tamaño de primera a Q. 4.40 por kilogramo, el tamaño de segunda a Q 3.74 por kilogramo y el tamaño de tercera a Q. 3.08 por kilogramo.

El cuadro 14 presenta la relación Beneficio/Costo y la rentabilidad para cada tratamiento. El tratamiento T5 (Metalosate Boro) presentó los mejores indicadores, con una relación B/C de 2.28 y una rentabilidad de 227.61 %. Esto se debe a que el tratamiento T5 (Metalosate Boro) presentó el mayor rendimiento total de frutos y el mayor rendimiento de fruto de primera. En segundo lugar se encuentra el tratamiento T4 (NeutralBor) con una relación B/C de 2.09 y una rentabilidad de 208.58 %. Este lugar se debe a que T4 (NeutralBor) presentó el segundo mayor rendimiento total de fruto y rendimiento de fruto de primera. En tercer lugar se encuentra el tratamiento T3 (Poliquel Boro), con una relación B/C de 2.02 y una rentabilidad de 202.20 %. En cuarto lugar se ubica T2 (Solubor), con una relación B/C de 1.88 y una rentabilidad de 188.48 %. Finalmente, el último lugar corresponde al tratamiento T1 (Testigo absoluto), con una relación B/C de 1.75 y una rentabilidad de 174.88.

Cuadro 14: Comparativo de la Relación Beneficio/Costo y Rentabilidad obtenidas de los cinco tratamientos evaluados.

Tratamientos	Kg/ha	Costo (Q)	Ingresos (Q)	Utilidad (Q)	Relación B/C	Rentabilidad (%)
Metalosate Boro	72666.92	90941.69	297934.37	206992.68	2.28	227.61
NeutralBor	68303.83	90751.69	280045.70	189294.01	2.09	208.58
Poliquel Boro	66879.85	90736.69	274207.39	183470.7	2.02	202.20
Solubor	63786.86	90656.69	261526.13	170869.44	1.88	188.48
Testigo absoluto	60695.05	90531.69	248849.71	158318.02	1.75	174.88

Precio ponderado de 1 kilogramo de fruto = Q.4.10

VIII. CONCLUSIONES

1. El efecto de los tratamientos T5 (Metalosate Boro), T4 (NeutralBor) y T3 (Poliquel Boro) influye en el rendimiento económico del cultivo de tomate a campo abierto, por lo que se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa.
2. A través del análisis de varianza y la prueba múltiple de medias Tukey $\alpha = 1\%$ de significancia, se determinó que los tratamientos T5 (Metalosate Boro) con 70%, T4 (NeutralBor) con 64% y T3 (Poliquel Boro) con 64% mejoraron el porcentaje de fecundación de flor, con respecto a los tratamiento T2 (Solubor) con 61% y T1 (Testigo absoluto) con 59%.
3. Por medio del análisis de varianza y la prueba múltiple de medias Tukey $\alpha = 1\%$ de significancia, se determinó que los tratamientos T5 (Metalosate Boro) con 72,666.92 kilogramos/hectárea, T4 (NeutralBor) con 68,303.83 kilogramos/hectárea y T3 (Poliquel Boro) con 66,879.85 kilogramos/hectárea tuvieron los mayores rendimientos totales de fruto, con respecto a los tratamientos T2 (Solubor) con 63,786.86 kilogramos/hectárea y T1 (Testigo absoluto) con 60,695.05 kilogramos/hectárea.
4. A través del análisis de varianza y la prueba múltiple de medias Tukey $\alpha = 1\%$ de significancia, se determinó que los tratamientos T5 (Metalosate Boro) con 45,476.43 kilogramos/hectárea y T4 (NeutralBor) con 43,281.50 kilogramos/hectárea mejoraron el rendimiento de fruto de primera, con respecto a los tratamientos T3 (Poliquel Boro) con 41,293.85 kilogramos/hectárea, T2 (Solubor) con 36,516.93 kilogramos/hectárea y T1 (Testigo absoluto) con 32,642.47 kilogramos/hectárea. En cuanto al rendimiento de fruto de segunda y tercera, no se encontró diferencia estadística significativa.
5. De acuerdo con el análisis económico, se estableció que el tratamiento T5 (Metalosate Boro) presentó la mayor relación Beneficio/Costo y la mayor rentabilidad, con una relación B/C de 2.28 y una rentabilidad de 227.61 %.

IX. RECOMENDACIONES

1. Para los productores de tomate del área de la Laguna de Retana, se recomienda la aplicación de 100 gramos de boro, distribuido en dos aplicaciones (25 y 35 días después del trasplante), idealmente de fuentes con acomplejantes a base de aminoácidos, carbohidratos, entre otros.
2. Se recomienda realizar muestreos foliares previo al inicio de la floración para identificar oportunamente la deficiencia de boro y otros microelementos y aplicar las medidas correctoras correspondientes.
3. Para obtener un mayor rendimiento, se recomienda los productores de tomate de la Laguna de Retana como fuentes de boro, los tratamientos T5 (Metalosate Boro), T4 (NeutralBor) y T3 (Poliquel Boro), por presentar los mayores porcentajes de fecundación, rendimiento total de frutos y rendimiento de frutos de primera, y así mismo, presentar la mayor relación Beneficio/Costo y Rentabilidad.
4. Se recomienda continuar investigando con aplicaciones de boro en tomate y otros cultivos, con el objetivo de validar y/o descartar los resultados obtenidos en esta investigación y definir la dosis más apropiada, entre otros.

X. BIBLIOGRAFÍA

1. Agrológica. (2011). Deficiencias y excesos nutricionales en tomate: síntomas y corrección. España. Consultado el 25 de junio de 2015. Disponible en: <http://blog.agrológica.es/deficiencias-y-excesos-nutricionales-en-cultivo-tomate-sintomas-y-correccion-fertilizantes-nitrogeno-fosforo-potasio-magnesio-calcio-azufre-hierro-zinc-manganeso-boro-molibdeno-cloro/>
2. Aguilar, D. y Trinidad, A. (1999). Fertilización foliar, un respaldo importante en el rendimiento de los cultivos. México. Terra, volumen 17, número 3.
3. Argerich, C. y Gaviola, J. (1995). Manual de producción de semillas hortícolas. Tomate. Argentina. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, 81 p.
4. Albion Plant Nutrition. (2013). Metalosate Fertilizantes foliares líquidos quelados con aminoácidos. Consultado el 07 de enero 2015, disponible en: http://www.bioagrolat.com/archivos/wp-content/uploads/downloads/2014/07/Plant_2013_Metalosate_brochure_SpV1_final.pdf
5. Arysta LyfeScience. (2008). Poliquel Boro. Hoja técnica. Consultado el 07 de enero 2015, disponible en: http://www.arystalifesciencecayc.com/user_files/uploads/files/Ficha_Tecnica_Poliquel_boro.pdf
6. Bonilla, J. (2002). Evaluación del efecto de la carga floral y niveles de boro foliar sobre la calidad de semilla de geranio (*Pelargonium x hortorum*) para exportación. Tesis Ingeniero Agrónomo, Guatemala, Universidad Rafael Landívar. 39 p.
7. Borax. (2012). Solubor. Consultado el 07 en 2015, disponible en: <http://www.borax.com/product/solubor.aspx>
8. Brown, P. (2007). Boro: Probablemente el mayor mercado de micronutrientes por desarrollar en el mundo. New AG Internacional. Volumen de Abril 2007.
9. Compo. (2014) Nutrición Floral. Compo Expert Journal. Chile: Vivaldi y Asociados. 6p.
10. Disagro. (2010). NeutralBor. Hoja técnica de acompañamiento a fertilizante.
11. Edifarm Internacional Centroamérica. (Ed). (2003). Manual de Hortalizas. (1ra edición). Guatemala: Edifarm.
12. Hochmuth, G., Maynard, D., Vavrina, C., Hanlon, E., & Simonne E. (2004). Plant tissue analysis and interpretation for vegetable crops in Florida. Estados Unidos de Norteamérica, Universidad de Florida, 48 p. Consultado el 07 de enero 2015, disponible en: <http://edis.ifas.ufl.edu/pdffiles/EP/EP08100.pdf>

13. Holdridge, R. (1979). Ecología basada en zonas de vida. Costa Rica: IICA. 216 p.
14. Inpofos. (Ed). (1997). Manual Internacional de Fertilidad de Suelos. (1ra. Edición en español). U.S.A.: Inpofos.
15. MAGA. (2013). El agro en cifras. Guatemala, Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, 68 p.
16. Meléndez, G. y Molina, E. (2003). Fertilizantes, Características y Manejos. Consultado el 02 de octubre del 2013, disponible en: <http://www.cia.ucr.ac.cr/pdf/Memorias/Memoria%20Curso%20Fertilizantes.pdf>
17. Navarro, G. y Navarro, S. (2003). Química Agrícola. España: Ediciones Mundi-Prensa, segunda edición. 487 p.
18. Pérez, J., Huertado, G., Aparicio, V., Argueta, Q. y Larín, M. (2002). Guía Técnica Cultivo de Tomate. El Salvador: Centa. 48 p.
19. Quiñonez, M. (2006). Aplicación foliar de Boro (B) y Zinc (Zn) en pre y posfloración, y su efecto en la productividad y calidad del cultivo de café, en la finca La Planta, Esquipulas, Chiquimula. Tesis Ingeniero Agrónomo, Guatemala, Universidad Rafael Landívar. 61 p.
20. Simmons, CH., Tarano, J. y Pinto, J. (1959). Clasificación de reconocimiento de los suelos de la República de Guatemala. Guatemala: Editorial José Pineda Ibarra. 1000 p.
21. Sitún, M. (2000). Investigación Agrícola, Guía de Estudios. Guatemala: ENCA.
22. Wade, E. y de Romero, N. (1995). Guía práctica para la Interpretación de análisis de Suelos. (1ra. Edición). Guatemala: Agri-lab.

XI. ANEXOS

Cuadro 15: Cronograma de trabajo.

ACTIVIDAD	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO
ALMÁCIGO	****				
TRANSPLANTE		*			
MANEJO DEL EXPERIMENTO		***	****	****	
COSECHA					**
ANALISIS DE LA INFORMACIÓN					**
ELABORACION INFORME FINAL					**

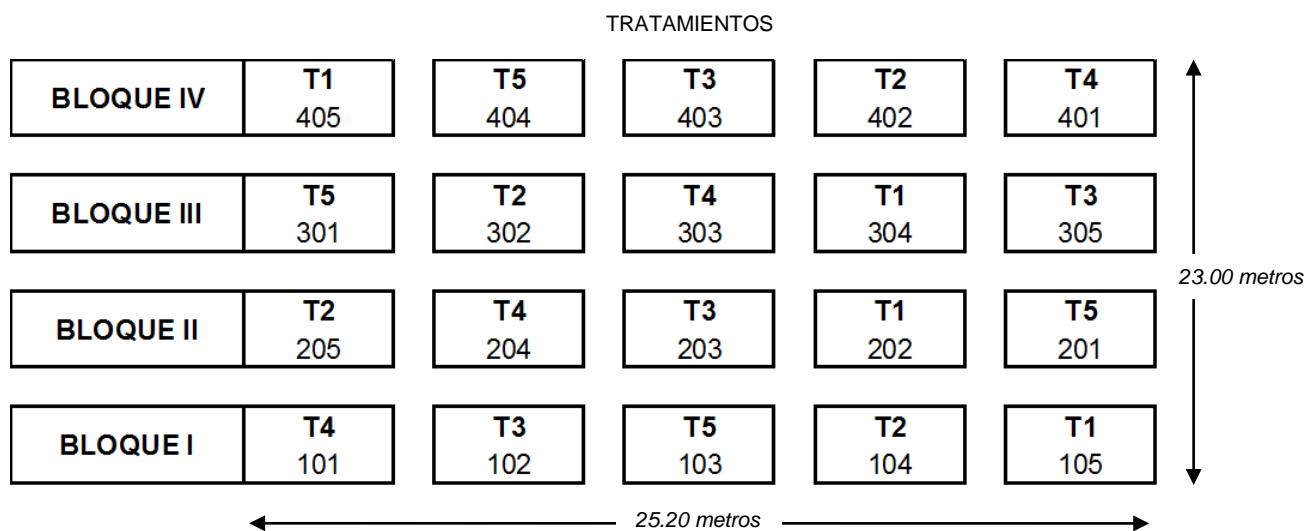


Figura 14: Croquis del experimento.

Cuadro 16: Costos de producción para 1.0 hectáreas de tomate determinado, a campo abierto y bajo condiciones de riego por goteo, 2014.

	Cantidad	Unidad de Medida	Valor Unitario	Valor Actividad	Valor Total
I COSTO DIRECTOS					
1	Renta de la tierra (4 meses)	1	Hectárea	Q 3,500.00	Q 3,500.00
2	Analisis de laboratorio (Suelo, agua, planta)	1	Analisis	Q 250.00	Q 250.00
3	Mecanización del terreno				Q 3,750.00
	3.1 Aradura	1	Hectárea	Q 400.00	Q 400.00
	3.2 Rastreado	2	Hectárea	Q 400.00	Q 800.00
	3.3 Surqueado	1	Hectárea	Q 400.00	Q 400.00
4	Mano de obra				Q 1,600.00
	4.1 Ennylado	18	Jornal	Q 50.00	Q 900.00
	4.2 Transplante y retransplante	10	Jornal	Q 50.00	Q 500.00
	4.3 Montaje de microtunel	36	Jornal	Q 50.00	Q 1,800.00
	4.4 Control fitosanitario	48	Jornal	Q 50.00	Q 2,400.00
	4.5 Riego por goteo y fertirrigacion	30	Jornal	Q 50.00	Q 1,500.00
	4.6 Tutoreado	34	Jornal	Q 50.00	Q 1,700.00
	4.7 Cosecha	80	Jornal	Q 50.00	Q 4,000.00
	4.8 Clasificación y envase	32	Jornal	Q 100.00	Q 3,200.00
5	Insumos				Q 16,000.00
	5.1 pilones	21	millar	Q 285.00	Q 5,985.00
	5.2 Fertilizantes	---	Varios	Q 6,000.00	Q 6,000.00
	5.3 Pesticidas	---	Varios	Q 9,600.00	Q 9,600.00
	5.4 Combustibles; gasolina y lubricantes	45	galón	Q 35.00	Q 1,575.00
	5.5 Mulch plastico, rollo 1,200 metros	7	unidad	Q 650.00	Q 4,550.00
	5.6 Alambre galvanizado # 12, quintal	4	unidad	Q 175.00	Q 175.00
	5.7 Manta flotante, rollo 1,000 metros	8	unidad	Q 1,000.00	Q 4,000.00
	5.8 Vara de bambu	3,500	unidad	Q 1.00	Q 1,750.00
	5.9 Pita, rollo	16	unidad	Q 65.00	Q 520.00
6	Transporte a centro de acopio	3	flete	Q 3,000.00	Q 9,000.00
7	Inversion en sistema de riego por goteo y fertirrigación				Q 4,215.40
	7.1 Tuberia PVC 2" x 80 psi	5	unidad	Q 78.00	Q 39.00
	7.2 Tuberia PVC 1 1/2" x 100 psi	13	unidad	Q 48.00	Q 62.40
	7.3 Estacion de filtrado e inyeccion	1	unidad	Q 3,000.00	Q 300.00
	7.4 Cinta de riego, rollo 2000 mts	4	unidad	Q 1,500.00	Q 3,000.00
	7.5 Motor alta presión, 2" x 2", 4.5 hp	1	unidad	Q 5,000.00	Q 500.00
	7.6 Valvula	2	unidad	Q 140.00	Q 14.00
	7.7 Accesorios	---	varios	Q 3,000.00	Q 300.00
	TOTAL COSTOS DIRECTOS				Q 68,720.40
II COSTOS INDIRECTOS					
1	Administrativos y asesoria (15%SCD)			Q	10,308.06
2	I.G.S.S. (12.67 % S/Salarios)			Q	2,027.20
3	Prestaciones (29.16%) Incluye bonificacion			Q	4,665.60
4	Financieros (21% SCD*4meses)			Q	4,810.43
	TOTAL DE COSTOS INDIRECTOS				Q 21,811.29
III COSTOS TOTALES					
					Q 90,531.69

Solubor®

20.5% B Typical
 $\text{Na}_2\text{B}_8\text{O}_{13}\cdot 4\text{H}_2\text{O}$
 Disodium Octaborate Tetrahydrate

Background

Boron is one of seven micronutrients essential to all plant growth. Its role was recognised first in the 1920s and since that time, boron deficiency has been recognised in a wide range of crops.

Correcting boron deficiency

Boron deficiency can be remedied by the correct application of a borate containing material in solid or liquid fertilisers, to the seedbed in annual crops or under the foliar canopy of perennial crops. Perennial and annual crops can also be sprayed with boron containing solutions. These are normally tank mixed with other micronutrients or with agrochemical products.

The latter method of application may be preferable since at peak requirement times the boron needs of the growing plant can frequently exceed its ability to obtain its needs through the roots. Mixing with other sprays as part of a programme enables the grower to time this availability and save application cost.

Detecting boron deficiency

Boron deficiency shows in clearly defined ways in certain crops. Generally, by the time visible symptoms are seen, yields will already have been adversely affected. The best way to establish need is either through soil testing or through tissue analysis. In this way, boron supplementation can form part of a 'balanced nutrition' approach to crop fertilisation.

Predicting boron deficiency

Certain crops world-wide are known to be more susceptible to lack of boron than others. These are shown in the tables.

Susceptible

Alfalfa (Lucerne)	Coffee	Olive
Apple	Cotton	Pine
Broccoli	Eucalyptus	Red beet
Carnation	Grape	Rutabaga
Cauliflower	Groundnut	Sugar beet
Carrot	Mangold	Sunflower
Celery	Oil palm	Swede
Chrysanthemum	Oilseed rape	Turnip

Moderately susceptible

Banana	Cocoa	Pear
Brussels sprout	Coconut	Poppy
Cabbage	Flax linseed	Potato
Chinese cabbage	Hop	Tea
Citrus	Maize Corn	Tobacco
Clover	Papaya	Tomato

Figura 15: Hoja técnica de producto Solubor, 1 de 4 (Borax, 2012).


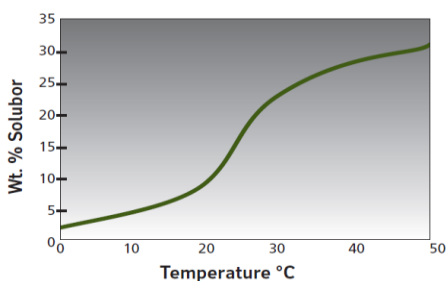
	Product Data Sheet	Solubor®			
<p style="text-align: right;">Part of Rio Tinto</p> <p>There are several factors which need to be taken into account when boron deficiency may be suspected:</p> <ul style="list-style-type: none"> • High rainfall • Recent liming (pH over 6.6) • Previous cropping • Boron removal by previous crops • No boron nutrition • Sandy soils • High organic matter <p>Additional reading <i>Boron Deficiency—Its Prevention and Cure</i>, by V.M. Shorrocks (available from Borax on request.) <i>Mineral Nutrition of Higher Plants</i>, by Horst Marschner, Academic Press. <i>Boron and its Role in Crop Production</i>, by Umesh C. Gupta. CRC Press.</p> <hr/> <p><i>Solubor</i>® is manufactured to combine the highest concentration of boron with the maximum possible dispersion and solubility in water. As such, it has a number of different uses in agro-industrial markets, in addition to its long established role in farm sprays.</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;"> <p>To calculate the amount of <i>Solubor</i> required, multiply the elemental boron required by 4.8</p> </div> <p>Main uses</p> <ul style="list-style-type: none"> • Coating of finished solid fertilisers. • Manufacture of solution or suspension fertilisers. Optimised dissolution at low ambient temperatures and high concentration make <i>Solubor</i> the product of choice. • Formulation of high performance liquids containing either boron alone or a combination of nutrients for spraying, ‘fertigation’ or irrigation. • Inclusion in multi-element soluble powder formulations for spraying on farm. • To provide boron through irrigation, fertigation or hydroponics where this is the most practical form of plant feeding. <p>Advantages</p> <p>Rapid dispersion The amorphous particles of <i>Solubor</i> facilitate rapid wetting and incorporation in water and more viscous liquids, even at low temperatures.</p> <p>High solubility The minute particle size of <i>Solubor</i> (<75 microns) and inherent high solubility, even at low temperatures, gives rapid solubility properties even under demanding conditions.</p> <p style="text-align: right;">2 of 4 (4/2012)</p>					

Figura 16: Hoja técnica de producto Solubor, 2 de 4 (Borax, 2012).

Solubility in water



Temperature °C	Temperature °F	Weight % of Solubor® in saturated solutions	Percent concentration of boron (B) in saturated solutions
0	32	2.4	0.5
10	50	4.5	0.9
20	68	9.5	2.0
30	86	21.9	4.4
40	104	27.8	5.7
50	122	32.0	6.5

Note: Solubilities in the above table are for equilibrium conditions. Solubor readily dissolves even in cool water to give supersaturated solutions of considerably higher concentration than indicated in the graph.

Minimal crystallisation effect

Solubor causes minimum changes to crystallisation temperatures or density of formulations. Experience has shown that levels of up to 2.7% Solubor can be added to the more common liquid fertiliser formulations while maintaining crystallisation temperatures below 1.7°C (35°F).

pH buffering action

Solubor has a slight buffering action and maintains pH in solutions.

Percent Solubor® by weight of solution	pH at 23°C (73.4°F)
1	8.5
2	8.4
5	8.0
10	7.6
15	7.3

Bulk density

Pack type	kgm ⁻³	lb./cu. ft.
Loose pack	500	25
Tight pack	560	35

High boron content (20.9% typical)

The relatively small quantities of Solubor needed to correct deficiency (and therefore for addition to formulations) make it an economical source of boron for manufacturers.

Figura 17: Hoja técnica de producto Solubor, 3 de 4 (Borax, 2012).

	Product Data Sheet	Solubor®			
<p style="text-align: right;">Part of Rio Tinto</p>					
<hr/> <p>Notice: Before using these products, please read the Product Specifications, the Safety Data Sheets and any other applicable product literature. The descriptions of potential uses for these products are provided only by way of example. The products are not intended or recommended for any unlawful or prohibited use including, without limitation, any use that would constitute infringement of any applicable patents. Nor is it intended or recommended that the products be used for any described purposes without verification by the user of the products' safety and efficacy for such purposes, as well as ensuring compliance with all applicable laws, regulations and registration requirements. Suggestions for use of these products are based on data believed to be reliable. The seller shall have no liability resulting from misuse of the products and provides no guarantee, whether expressed or implied, as to the results obtained if the products are not used in accordance with directions or safe practices. The buyer assumes all responsibility, including any injury or damage, resulting from misuse of the product, whether used alone or in combination with other materials. THE SELLER MAKES NO EXPRESS OR IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY OR FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE. THE SELLER SHALL HAVE NO LIABILITY FOR CONSEQUENTIAL DAMAGES.</p> <p style="text-align: right;">Minerals that make a difference www.riotintominerals.com</p> <p style="text-align: right;"><small>4 of 4 (4/2012)</small></p>					

Figura 18: Hoja técnica de producto Solubor, 4 de 4 (Borax, 2012).



Arysta LifeScience



FICHA TÉCNICA

1 de 1

INVESTIGACION & DESARROLLO

Noviembre, 2008

ESPECIFICACIONES DE AGROINSUMOS		
TIPO DE AGROINSUMO: Fertilizante foliar		
SINÓNIMO: Nutriente vegetal		NOMBRE COMERCIAL REGISTRADO: Poliquel Boro
FORMULACION: Líquido	pH DE LA FORMULACIÓN: 8.5 a 10.5	COLOR: amarillento SOLUBILIDAD EN AGUA: Soluble
COMPOSICIÓN PORCENTUAL: Poliquel Boro		PRINCIPALES COMPUESTOS DE LA FORMULACIÓN: Nutrientes primarios
Boro.....9 %		FAMILIA QUIMICA: No aplica
Diluyentes y acondicionadores..... 91.00		FORMULA QUIMICA: No aplica
Total..... 100		
MODO DE ACCION: Poliquel* Boro es una formulación de Boro acompañado por agentes orgánicos naturales, que le dan estabilidad al producto en condiciones extremas. Este complejo facilita la penetración y liberación de los nutrientes en la planta. Es un fertilizante de alta solubilidad de Boro. Con esta formulación se realiza el aporte de Boro el cual es necesario en el metabolismo y transporte de carbohidratos al formar complejos azúcar-borato, en la síntesis de la pared celular, por otro lado, interviene en la fecundación y en la fotosíntesis. El Bo se considera como un elemento formativo de las estructuras vegetales, ya que contribuye a la formación y desarrollo de varios tejidos.		
CATEGORIA TOXICOLOGICA: IV: Ligeramente Tóxico	RESIDUALIDAD: No es Residual.	REGISTRO OFICIAL: RSCO-0151/III/97- Vigencia Indeterminada
USOS AUTORIZADOS: Poliquel* Boro, aplicado a las dosis recomendadas, es compatible con fungicidas, insecticidas, fertilizantes y reguladores de crecimiento de uso común. En alfalfa se recomienda aplicar 0.25 a 0.5 L/ha a los 8 a 15 días después de cada corte. En Algodonero aplicar 0.25 a 0.5 L/ha cuando aparezcan los primeros cuadros y repetir cada semana hasta un máximo de cinco. En Apio de 1 a 1.5 cuando las plantas tengan de 10 a 20 cm y repetir a los 15 ó 21 días después. En berenjena, chile y tomate aplicar 0.25 a 0.5 L/ha al inicio de la floración y repetir a los 15 ó 21 días después. En brócoli, col de Bruselas, coliflor y repollo aplicar de 2 a 3 L/ha cuando las plantas tengan de 4 a 6 hojas, repetir antes de la formación de la inflorescencia, excepto repollo, y a los 15 y 21 días después. En cacahuete aplicar 0.25 a 0.5 L/ha al inicio de floración y repetir a los 15 ó 21 días después. En café 0.25 a 0.5 L/ha al inicio de floración y repetir a los 10 ó 21 días después. En Cucurbitáceas aplicar 0.5 a 1 L/ha al inicio de la floración y repetir a los 15 ó 30 días después. Para caña de azúcar aplicar 0.5 a 1 L/ha realizar dos aplicaciones, la primera 40 días después del corte y repetir 2 meses después. En cebada y trigo aplicar 0.25 a 0.5 L/ha en el amacollamiento y repetir en el embuche. En cítricos aplicar 2 a 3 L/ha aplicar al momento de la floración y repetir durante la formación de frutos. En chícharo, frijol y soya aplicar 0.25 a 0.5 L/ha al inicio de la floración y repetir a los 15 ó 21 días después. En durazno, manzano, nogal y peral aplicar 0.5 a 1.5 L/ha durante la floración y repetir en el cuajado de frutos. En espárrago aplicar 0.5 a 1 L/ha iniciar 30 días después del trasplante y repetir mensualmente durante el desarrollo. En espinaca aplicar 2 a 3 L/ha iniciar al observar de 4 a 6 hojas y repetir ocho días después. En fresa aplicar 0.25 a 0.5 L/ha aplicar al momento de la floración y repetir después de cada corte. En girasol aplicar 0.5 a 1 L/ha dos aplicaciones, la primera al inicio de la floración y repetir a los 15 ó 21 días después. En maíz y sorgo aplicar 0.5 a 1 L/ha cuando se observen 4 a 6 hojas, repetir en la floración. En ornamentales aplicar 0.25 a 0.5 L/ha iniciar después del trasplante y repetir antes de la floración. En papa aplicar de 0.5 a 1 L/ha 25 a 30 días después de emergencia y repetir dos semanas después. En papayo aplicar 0.5 a 1 L/ha primera aplicación 2 meses después del trasplante y repetir al inicio de la floración y 30 días después. En tabaco aplicar 0.5 a 1 L/ha 30 días después del trasplante y repetir a los 15 ó 21 días. En vid aplicar 0.5 a 1 L/ha al inicio de la floración y durante el amarre de frutos.		
RECOMENDACIONES ESPECIFICAS: Leer detenidamente la etiqueta del producto y seguir las indicaciones de uso.	PRESENTACIONES COMERCIALES: Frasco de 1 l.	RESPONSABLE DEL PRODUCTO: 6a. avenida 8-00 zona 9 edificio Centro Operativo nivel 6 oficina 6D, ciudad de Guatemala. Tel. (502) 2362 6372

Figura 19: Hoja técnica de producto Poliquel Boro (Arysta LifeScience, 2008).



HOJA TÉCNICA

NeutralBor			
DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO			
NeutralBor es un fertilizante foliar que proporciona boro. Las aplicaciones de este producto ayudan a corregir la deficiencia de este micronutriente en los cultivos.			
APARIENCIA			
Tipo de producto:	Fertilizante foliar		
Apariencia:	Líquida		
Color:	Amarillo claro		
Olor:	A aminas		
COMPOSICIÓN QUÍMICA			
Elemento	Expresado como	Unidades	Contenido
Boro	B	% (p/p)	10.0
PROPIEDADES QUÍMICAS Y FÍSICAS			
Gravedad específica			1.31 - 1.33
pH (solución al 5%)	-		7.60 - 7.90
<p>Leer las especificaciones de este producto (hojas de seguridad y demás literatura relacionada) antes de su uso. Se recomiendan pruebas previas antes de utilizarlo. El formulador garantiza que el contenido de este producto está acorde a lo indicado. No es posible controlar el manejo y almacenamiento después de adquirido por lo que no se ofrece garantía por el uso incorrecto que realice el comprador o consumidor; quien deberá aceptar el riesgo bajo estas condiciones.</p>			

Figura 20: Hoja técnica de producto NeutralBor (Disagro, 2010).

METALOSATE®

BORO



ANÁLISIS GARANTIZADO (w/w):

Boro (B) (complejo)5.0% (derivado de tetraborato de sodio)

RECOMENDACIONES:

Cultivo de Campos y Vegetales:	Aplicar de 0,5 a 1,0 litros por hectárea durante la etapa de crecimiento rápido o de estrés nutricional. La aplicación se puede repetir dos o más veces.
Cultivo de Árboles:	Hacer una aplicación de 0,3 a 1,5 litros por hectárea al la etapa de crecimiento activo. La aplicación puede repetirse en intervalos de 2 a 4 semanas.
Uvas y Bayas:	Hacer una aplicación de 0,5 a 1,0 litros por hectárea al comienzo de la etapa de crecimiento activo. La aplicación puede repetirse en intervalos de una semana o más durante la etapa de crecimiento vegetativo.
Césped:	Aplicar de 10 a 20 mililitros por cada 100 metros cuadrados durante la etapa de crecimiento activo.
Árboles Ornamentales, Arbustos, y Plantas con Flores:	Diluir a una cantidad de 100 mililitros en 10 litros o más de agua y asperjar totalmente la planta.

PRECAUCIÓN: Este material contiene boro. Su mal uso puede causar lesiones graves a los cultivos.

Se debe utilizar solamente bajo la dirección de los consultores de fertilizantes.

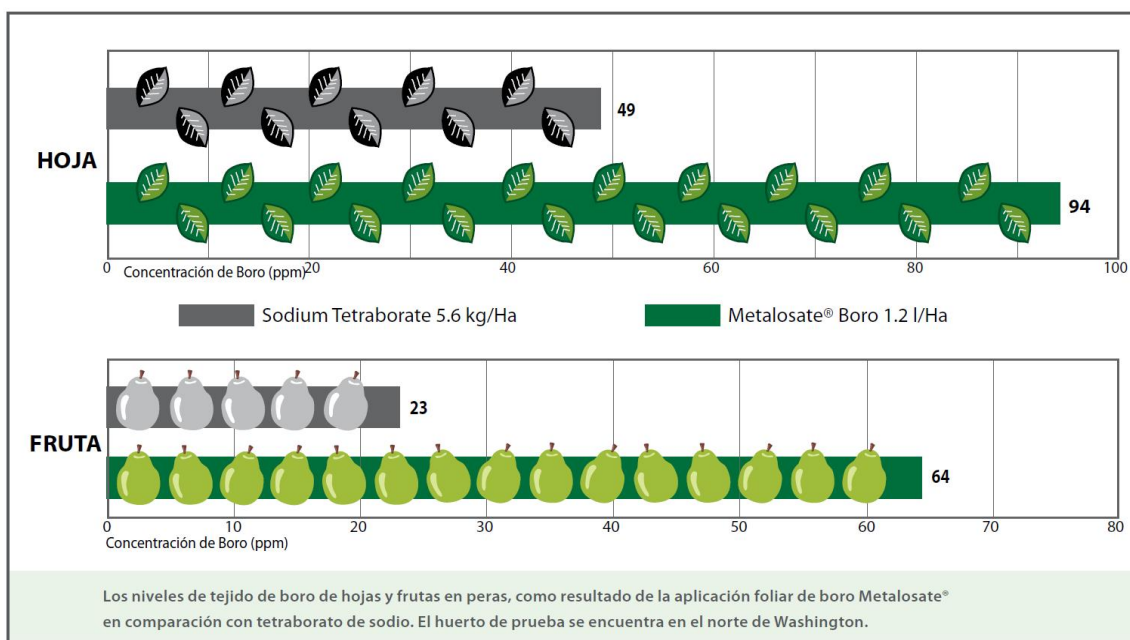


Figura 21: Hoja técnica de producto Metalosate Boro (Albion Plant Nutrition, 2013).



Figura 22: Identificación de racimos florales para cuantificar porcentaje de fecundación de flor.



Figura 23: Cosecha, clasificación y pesaje de frutos de tomate.