

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO UNIVERSITARIO DE OCCIDENTE
DIVISION DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE AGRONOMÍA**



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

**EVALUACIÓN DE CINCO NIVELES DE BORO Y DOS FORMAS DE APLICACIÓN,
EN EL CULTIVO DE CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum officinarum L.*), EN LA FINCA
ALASKA, INGENIO MAGDALENA S.A., RETALHULEU.**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

Presentado a las autoridades de la División de Ciencia y Tecnología
Del Centro Universitario de Occidente de la Universidad de
San Carlos de Guatemala.

POR:

FREDY MISAEL TAYUN HERRERA

Previo a conferírsele el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO

EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA

En el grado académico de:

LICENCIADO EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO UNIVERSITARIO DE OCCIDENTE

AUTORIDADES:

Rector Magnífico: Dr. Carlos G. Alvarado Cerezo.
Secretario General: Dr. Carlos Enrique Camey Rodas.

CONSEJO DIRECTIVO

Directora General del CUNOC: MSc. María del Rosario Paz C.
Secretario Administrativo: MSc. Silvia Recinos

REPRESENTANTES DE LOS CATEDRATICOS

Ing. Agr. Héctor Alvarado Quiroa.
Ing. Edelman Monzón.

REPRESENTANTES DE LOS ESTUDIANTES

Br. Luis Ángel Estrada García.
Br. Edson Vitelio Amésquita Cutz.

REPRESENTANTE DE LOS EGRESADOS

Dr. Emilio Búcaro.

DIRECTOR DE LA DIVISIÓN DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

Q.F. Aroldo Roberto Méndez Sánchez.

COORDINADOR DE LA CARRERA DE AGRONOMÍA

Ing. Agr. MSc. Imer Vinicio Vásquez Velásquez.

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO UNIVERSITARIO DE OCCIDENTE
DIVISIÓN DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE AGRONOMÍA**

TRIBUNAL QUE PRACTICO EL EXAMEN TÉCNICO PROFESIONAL

PRESIDENTE

Lic. Q.F. Aroldo Roberto Méndez Sánchez.

EXAMINADOR

PhD. Dagoberto bautista.

Ing. Jorge Rodríguez Pérez.

Msc. Carlos Gutiérrez.

SECRETARIO

Ing. Agr. Imer Vinicio Vásquez Velásquez.

DIRECTOR DE LA DIVISIÓN DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

Lic. Q.F. Aroldo Roberto Méndez Sánchez.

COORDINADOR DE LA CARRERA DE AGRONOMÍA

Ing. Agr. Imer Vinicio Vásquez Velásquez.

NOTA: “únicamente el autor es responsable de las doctrinas y opiniones sustentadas en el presente trabajo de graduación”. (Artículo 31 del reglamento para Exámenes Técnicos Profesionales del Centro Universitario de Occidente y Artículo 13 de la ley orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala).

Quetzaltenango Agosto de 2,016

HONORABLE CONSEJO DIRECTIVO

HONORABLES AUTORIDADES DE LA DIVISIÓN DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

HONORABLE MESA DE ACTO DE GRADUACIÓN Y JURAMENTACIÓN

De conformidad con las normas que establece la ley orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, del reglamento General de Evaluación y promoción del estudiante de la Universidad de San Carlos de Guatemala y del normativo de Evaluación y promoción del estudiante del Centro Universitario de Occidente: Tengo el honor de someter a vuestra consideración el trabajo de graduación titulado:

**EVALUACIÓN DE CINCO NIVELES DE BORO Y DOS FORMAS DE APLICACIÓN,
EN EL CULTIVO DE CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum officinarum L.*), EN LA FINCA
ALASKA, INGENIO MAGDALENA S.A., RETALHULEU.**

**Presentado como requisito previo a optar al título de Ingeniero Agrónomo en
Sistemas de Producción Agrícola, en el grado de Licenciado en Ciencias
Agrícolas.**

Atentamente con muestras de respeto y admiración.

FREDY MISAEL TAYUN HERRERA

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”



Quetzaltenango, 8 de agosto de 2016.

Licenciado Q.F. Aroldo Roberto Mèndez Sánchez
Director de la División de Ciencia y Tecnología.
Centro Universitario de Occidente.

Apreciable Señor Director:

Atendiendo al nombramiento que la Dirección a su cargo me confiriera, a través del Oficio No.103/SDCyT/2016, de fecha 2 de agosto de 2016, me permito informarle que he concluido la revisión del trabajo de graduación del estudiante universitario FREDY MISAEEL TAYUN HERRERA titulado:

“EVALUACIÓN DE CINCO NIVELES DE BORO Y DOS FORMAS DE APLICACIÓN EN EL CULTIVO DE CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum officinarum* L.), EN FINCA ALASKA, INGENIO MAGDALENA S.A., RETALHULEU”

Aprovecho la oportunidad para indicarle la importancia del trabajo, el cual cumple con los requisitos para su aprobación.

Atentamente.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”



Ing. Agr. M. Sc. Carlos E. Gutiérrez L.
Colegiado 372
REVISOR.

Santa Lucia Cotzumalguapa, 11 de Julio de 2016

Q.F. Aroldo Roberto Méndez Sánchez
Director de la División de Ciencia y Tecnología
Centro Universitario de Occidente CUNOC

Estimado señor Director

Atentamente me dirijo a Usted, para informarle que a la fecha he finalizado la ASESORIA del trabajo de GRADUACION del estudiante FREDY MISAEL TAYUN HERRERA, titulado:

“EVALUACION DE CINCO NIVELES DE BORO Y DOS FORMAS DE APLICACIÓN EN EL CULTIVO DE CAÑA DE AZUCAR (*Saccharum officinarum* L.), EN LA FINCA ALASKA, INGENIO MAGDALENA S.A. RETALHULEU”

Al respecto, me permito manifestarle que dicho trabajo de investigación cumple con los requisitos establecidos por la carrera de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala por lo que RECOMIENDO SU PUBLICACION.

Sin otro particular.

Atentamente



Ing. MSc. Ovidio Pérez
Coelgiado 639



*Centro Universitario de Occidente
División de Ciencia y Tecnología*

El infrascrito **DIRECTOR DE LA DIVISIÓN DE CIENCIA Y TECNOLOGIA**
Del Centro Universitario de Occidente ha tenido a la vista la **CERTIFICACIÓN DEL ACTA DE GRADUACIÓN** No. 010-AGR-2016 de fecha diez de agosto del año dos mil dieciséis del (la) estudiante: **FREDY MISAEL TAYUN HERRERA** con Carné No. 200931543 emitida por el Coordinador de la Carrera de **AGRONOMIA** , por lo que se **AUTORIZA LA IMPRESIÓN DEL TRABAJO DE GRADUACIÓN** titulado: **“EVALUACIÓN DE CINCO NIVELES DE BORO Y DOS FORMAS DE APLICACIÓN EN EL CULTIVO DE CAÑA DE AZÚCAR (Saccharum officinarum L.) EN FINCA ALASKA, INGENIO MAGDALENA S.A. RETALHULEU.”**

Quetzaltenango, 10 de agosto de 2016.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”



Lic. Q.F. Aroldo Roberto Méndez Sánchez
Director de División de Ciencia y Tecnología

ACTO QUE DEDICO.

A DIOS

Quien siempre me ha mostrado el camino del bien y lo justo, la estabilidad emocional para aceptar las cosas que no puedo cambiar, valor para cambiar aquellas que puedo y a quien debo esta bendición.

A MIS PADRES

Maria Petrona Herrera Chun

Carlos Enrique Tayun Gómez

Quienes siempre están brindándome su amor y apoyo incondicional, gracias a ellos este éxito profesional.

A MI ESPOSA

Ángela Yulissa Méndez Pérez

Por su amor, tolerancia, comprensión, y apoyo para lograr juntos este éxito.

A MI HIJOS

Fredy Joel Tayun Méndez

Allan Misael Elí Tayun Méndez

Por ser la luz que guía mi camino, la esperanza de una vida mejor.

A MIS HERMANOS

Kevin, Nilton, Eggly, Joaquin, Charly, Byron y Shirley.

Gracias por su apoyo incondicional, ejemplo de vida, amor, y comprensión.

A MIS COMPAÑEROS

Por haber compartido en todo momento tan bella etapa.

Y para todos aquellos amigos que de una u otra manera influyeron en mi formación profesional y emocional.

Muchas gracias.

AGRADECIMIENTO

A: Todos los catedráticos de la carrera de Agronomía del Centro Universitario de Occidente, de la Universidad de San Carlos de Guatemala, por tan bella y digna labor de transmitir sus conocimientos.

A: INGENIO MAGDALENA S.A., por su apoyo y complemento a mi formación profesional, por dar la oportunidad a estudiantes de involucrarse en tan digna empresa y ser coautores en el proceso productivo del sistema de cultivo de caña de azúcar.

A: Ing. Agr. Ovido Pérez, Ing. Agr. Eby Joaquín Tayun Herrera, por asesorar profesionalmente esta investigación.

A: Todas las personas que de una u otra manera contribuyeron a la realización de la presente investigación.

**EVALUACIÓN DE CINCO NIVELES DE BORO Y DOS FORMAS DE APLICACIÓN,
EN EL CULTIVO DE CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum officinarum L.*), EN LA FINCA
ALASKA, INGENIO MAGDALENA S.A., RETALHULEU.**

ÍNDICE

RESUMEN	xv
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Objetivos	4
1.1.1. General	4
1.1.2. Específicos	4
1.2. Hipótesis estadística.....	5
1.2.1. Nula	5
1.2.2. Alternativa.....	5
2. MARCO TEÓRICO	6
2.1. Fertilidad del suelo.....	6
2.2. Nutrición de plantas.....	6
2.3. Importancia de los elementos menores en la caña de azúcar	6
2.4. El boro en la nutrición y la fertilización de los cultivos	7
2.5. Absorción y transporte de boro en la planta.....	7
2.6. Funciones y síntomas de la deficiencia de B.....	8
2.6.1. Elongación de raíz y metabolismo de ácidos nucleicos	8
2.6.2. Metabolismo de glúcidos	8
2.6.3. Formación de las paredes celulares (lignificación)	8
2.6.4. Metabolismo de fenoles, auxinas y diferenciación de tejidos.....	9
2.6.5. Procesos fisiológicos.....	9
2.6.6. Estabilidad de la membrana celular.....	9
2.6.7. Otras funciones del boro	10
2.7. El boro en el suelo	10
2.8. Factores que afectan la disponibilidad de B.....	10
2.9. Corrección de la deficiencia de B.....	11
2.10. Fuentes de boro.....	12
2.11. Fertilización foliar	12
2.11.1. Absorción foliar	12
2.11.2. Suministro de nutrientes vía foliar	13

2.12. Experiencias de la aplicación de B en el cultivo de caña de azúcar en Guatemala y Colombia	14
3. MATERIALES Y MÉTODOS	15
3.1. Marco referencial	15
3.1.1. Ubicación geográfica.....	15
3.1.2. Características físico- biológicas.....	16
3.1.3. Recursos naturales	17
3.2. Metodología	21
3.2.1. Descripción de la investigación	21
3.2.2. Diseño experimental	21
3.2.3. Descripción de los tratamientos	21
3.2.4. Modelo matemático	22
3.2.5. Croquis del ensayo de campo	23
3.2.6. Unidad experimental	23
3.2.7. Variables de respuesta	24
3.2.8. Manejo agronómico del cultivo	26
3.2.9. Análisis de la investigación	27
3.2.10. Análisis económico	28
3.2.11. Recursos.....	29
4. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	30
4.1. Rendimiento de caña, concentración de sacarosa y rendimiento de azúcar.....	30
4.2. Análisis de la biometría.....	39
4.3. Análisis económico.....	48
5. CONCLUSIONES	51
6. RECOMENDACIONES	52
7. BIBLIOGRAFÍA	53
8. ANEXOS	55

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1: Análisis químico de suelo del área de investigación, (0 a 20 cms).....	19
Cuadro 2: Análisis químico de suelo del área de investigación, (20 a 40 cms.)	20
Cuadro 3: Descripción de tratamientos.....	22
Cuadro 4: Áreas y dimensiones del ensayo.....	23
Cuadro 5: Áreas y dimensiones de la unidad experimental.	23
Cuadro 6: Presupuesto de la investigación.....	29
Cuadro 7: Medias de las variables de rendimiento y producción.	30
Cuadro 8: Resumen del ANDEVA para las variables de rendimiento y producción.....	31
Cuadro 9: Análisis de contrastes, rendimiento de caña contra el testigo.....	32
Cuadro 10: Análisis de contrastes, concentración de sacarosa contra el testigo.	33
Cuadro 11: Análisis de contrastes, rendimiento de azúcar contra el testigo.	34
Cuadro 12: Medias de las variables biométricas.....	40
Cuadro 13: Resumen del análisis de varianza para las variables biométricas.	41
Cuadro 14: Análisis de contrastes, altura y población contra el testigo.	42
Cuadro 15: Análisis de contrastes, diámetro contra el testigo.	43
Cuadro 16: Costos de producción, para una hectárea de caña de azúcar.....	48
Cuadro 17: Costos de aplicación para una hectárea de caña de azúcar.....	48
Cuadro 18: Costos generales de tratamientos (aplicación suelo y foliar de B).	49
Cuadro 19: Análisis de la relación beneficio/costo, para rendimiento de azúcar.....	50
Cuadro 20: Costos, utilidades y rentabilidad, para rendimiento de azúcar.....	57
Cuadro 21: Egresos, ingresos y beneficios netos del cultivo de caña, para TAH.....	58
Cuadro 22: Calendario de actividades 2015 – 2016.....	59
Cuadro 23: Datos de campo, formato utilizado en el paquete estadístico.	60
Cuadro 24: Prueba de medias Tukey al 5% para TCH.	61
Cuadro 25: Prueba de medias Tukey al 5% para TAH.	61
Cuadro 26: Prueba de medias Tukey al 5% para KATC.....	62
Cuadro 27: Prueba de medias Tukey al 5% para Altura.....	62
Cuadro 28: Prueba de medias Tukey al 5% para Población.....	63
Cuadro 29: Prueba de medias Tukey al 5% para Diámetro.	63

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Colindancias de la finca Alaska.....	15
Figura 2: Croquis del ensayo.....	23
Figura 3: Dispersión y tendencia de respuesta al B aplicado al suelo para TCH.	35
Figura 4: Dispersión y tendencia de respuesta al B aplicado al suelo para KATC.....	35
Figura 5: Dispersión y tendencia de respuesta al B aplicado al suelo para TAH.	36
Figura 6: Dispersión y tendencia de respuesta al B aplicado foliar para TCH.	37
Figura 7: Dispersión y tendencia de respuesta al B aplicado foliar para KATC.....	37
Figura 8: Dispersión y tendencia de respuesta al B aplicado foliar para TAH.....	38
Figura 9: Estimación de la dosis optima económica de B de la función para TAH.....	39
Figura 10: Dispersión y tendencia de respuesta al B aplicado al suelo para altura.	44
Figura 11: Dispersión y tendencia de respuesta la B aplicado a suelo para población.	44
Figura 12: Dispersión y tendencia de respuesta al B aplicado al suelo para diámetro.....	45
Figura 13: Dispersión y tendencia de respuesta al B aplicado foliar para altura.	46
Figura 14: Dispersión y tendencia de respuesta al B aplicado foliar para población.	46
Figura 15: Dispersión y tendencia de respuesta al B aplicado foliar para diámetro.....	47
Figura 16: Aplicación de tratamientos al suelo, 45 ddc.....	55
Figura 17: Aplicación de tratamientos foliares, 90 y 150 ddc.(simulador aéreo).....	55
Figura 18: Muestreos de biometría al séptimo mes y muestreo precosecha.	56
Figura 19: Cosecha y pesaje de caña en campo.	56

RESUMEN

Esta investigación se llevó a cabo en la finca Alaska, correspondiente a la zona tres de la administración Retalhuleu, del ingenio Magdalena, En esta se evaluaron dos formas de aplicación del elemento boro (suelo y foliar) de forma complementaria a la fórmula granulada de NPKS para la nutrición de la caña de azúcar. Según análisis químico de suelo, los resultados indicaron una presencia de 0.50 ppm de boro y un nivel bajo de M.O. (menor a 2%).

Los tratamientos se evaluaron con un diseño experimental de bloques completos al azar con 4 repeticiones. Los tratamientos fueron dos formas de aplicación del elemento boro (suelo y foliar) y cada una de ellas con cinco dosis de aplicación (1, 2, 3, 4 y 5 kg B/ha aplicado al suelo y 0.25, 0.35, 0.45, 0.55 y 0.65 kg B/ha aplicado foliar) y se incluyó el testigo o control respectivo sin aplicación de B, con un total de 11 tratamientos. La unidad experimental estuvo constituida de 90 m² (10 m de largo y 5 surcos de 1.80 m de ancho), con una parcela neta de 10 m de largo y 5.4 m de ancho (54 m²).

Para la variable rendimiento de caña se estableció que la aplicación del T6 (0.25 kg de B/ha aplicado foliar) alcanzó el valor más alto, esto referido al peso de las toneladas de caña producidas por hectárea; para la variable concentración de sacarosa con la aplicación de 0.45 kg de B/ha aplicado foliar (T8), indicando el valor más alto de kilogramos de azúcar producidos por tonelada de caña. Para la variable rendimiento de azúcar que midió la cantidad de toneladas de azúcar que se producen a partir de una hectárea, con la incorporación del T8 se alcanzó el valor más alto.

La dosis óptima económica de B aplicado en forma foliar, se determinó igualando la primera derivada ($dy/db=5.936 - 2(7.177)$) de la ecuación $y=15.09 + 5.936x - 7.177x^2$ con la relación I/P o RCB. Considerando el costo de 1 kg de B en US\$ 11.34 y la tonelada de azúcar en US\$ en 170 (precio ingenio Magdalena) se tiene una Rel I/P o RCB de 0.06, de tal manera que la dosis óptima económica de B fue determinada en **0.41 kg de B/ha** (DOEB= $(-5.936 - 0.06) / (-2(7.177))$).

A la edad de 7 meses, se midieron las variables biométricas y se encontró respuesta para la variable ALTURA con el T2 (2 kg/ha aplicados al suelo) y T10 (0.65 kg/ha aplicado foliar); para POBLACION con el T3 (3 kg/ha aplicados al suelo) y para DIAMETRO se alcanzó con el T6 (0.25 kg/ha aplicado foliar) lo anterior referido a los valores más altos.

En los resultados del análisis económico, según la relación Beneficio/Costo, se ofrece una razón mayor en favor de la aplicación del T8 (0.45 Kg de B aplicado foliar). Este análisis indica la relación que existe entre los beneficios económicos, relacionando la cantidad de dólares de beneficio que se obtendrán por cada dólar invertido en la producción de caña de azúcar con la incorporación del tratamiento. Con la aplicación del T8, se obtendrán US\$ 6.90 por cada dólar invertido, esto en razón del testigo sin aplicación, siendo este el más económico para su incorporación y de más alto beneficio económico.

1. INTRODUCCIÓN

La agroindustria azucarera está ubicada en los departamentos de Suchitepéquez, Retalhuleu, Escuintla y Santa Rosa. El área cultivada con caña de azúcar es de 263,000 hectáreas, con una producción total de 2.78 millones de toneladas de azúcar (5). Según ASAZGUA, la agroindustria azucarera guatemalteca representa el 31 % del valor total de la exportación agrícola guatemalteca y 15.36 % de las exportaciones totales del País. Es el sector económico que más divisas y empleos genera en nuestro país. El azúcar y la melaza produjeron un ingreso de US\$978.1 millones en 2013. Representa alrededor del 13 % del PIB nacional y genera cerca de 425,000 empleos entre directos e indirectos (3).

Según las exportaciones de la agroindustria azucarera guatemalteca, posicionan al país como el segundo exportador y cuarto productor en términos de producción de toneladas de caña por unidad de área; en América latina y el Caribe, como cuarto exportador y tercer productor, a nivel mundial. (3). Estos niveles de productividad se han alcanzado debido a que la zona donde se ubica la agroindustria azucarera le provee de las condiciones edafo-climáticas para el adecuado desarrollo del cultivo y como consecuencia de la búsqueda consecutiva de mejora de las prácticas de manejo y tecnología que se usa en la producción del cultivo en el país donde la fertilización y nutrición del cultivo juegan un papel importante.

Actualmente la fertilización de la caña de azúcar en el país se enfoca principalmente en las aplicaciones de elementos mayores (NPK), dependiendo de la zona y condiciones del suelo. Sin embargo, recientemente algunas investigaciones han indicado que hay potencial en mejorar la producción de caña y aumentar los rendimientos de azúcar con aplicaciones de Boro especialmente en suelos arcillosos, arenosos con bajos contenidos de MO y baja disponibilidad de este elemento en el suelo (10).

La creciente expansión de la agroindustria azucarera en general y específicamente del Ingenio Magdalena S.A. contempla un aumento en su participación en el cultivo de caña de azúcar en particular, debido a esto también se establecen problemas que limitan las

capacidades de los suelos de estas áreas de expansión, tal es el caso en lo referente al suministro de la fertilización, ya que con frecuencia no se toma en cuenta la reposición de nutrientes extraídos por el cultivo durante un ciclo, estas limitaciones han provocado una marcada disminución del estado de fertilidad de la mayoría de los suelos de esta región. Esta baja en el estado de la fertilidad de los suelos y la deficiente nutrición para el cultivo, debería ser compensada a manera de satisfacer la demanda nutricional principalmente, entre otras medidas, para avanzar tanto en la sostenibilidad como en la competitividad del sistema productivo en el mediano plazo.

Los experimentos de respuesta a la fertilización en las principales zonas de la región, generalmente se centran, como se mencionó anteriormente, en la evaluación de la respuesta a elementos mayores mediante la aplicación de fertilizantes granulados vía suelo, principalmente.

Sin embargo, más recientemente se han iniciado los estudios con la utilización de otros nutrientes esenciales para los cultivos, especialmente micronutrientes tal es el caso del boro (B), cinc (Zn), entre otros, ya sea en formulaciones para aplicaciones foliares o edáficas. Sin embargo, hasta el momento los resultados de estas experiencias no han sido contundentes. (10).

Por otro lado, en estas áreas es frecuente observar síntomas de deficiencia de B en el cultivo y diversos resultados de análisis foliares indican bajos niveles de este nutriente en la planta.

El boro es un nutriente esencial en las plantas y participa en una serie de procesos fisiológicos dentro de la planta y en ocasiones su deficiencia se confunde con la de otros nutrientes. Entre las funciones del B en las plantas, dos están muy bien definidas: la conformación de la pared celular y la integridad de la membrana plasmática. Por esta razón, en presencia de una deficiencia de B no crecen nuevas raíces y tampoco nuevos brotes. (7., 11).

La disponibilidad de B en la solución del suelo está gobernada por la adsorción de B con los coloides del suelo. La adsorción de B se incrementa con el contenido de arcilla y con la alteración del pH en el suelo. (12).

Es posible, que las dosis de B actualmente recomendadas no logran mantener la concentración adecuada de B en la solución del suelo para el óptimo desarrollo de las plantas, particularmente en suelos arcillosos.

Con lo anterior, se resalta la importancia de este trabajo para afinar las recomendaciones, respecto a las aplicaciones de B en el cultivo de caña de azúcar.

El objetivo de esta investigación fue evaluar la respuesta en rendimiento y producción a la aplicación del producto Solubor (como fuente de B, al 20.5%), aplicado vía foliar y edáfica, en el cultivo de caña de azúcar, en ciclo soca, ante cinco dosis del producto.

1.1. Objetivos

1.1.1. General

Determinar el efecto de las aplicaciones de boro, en la producción y rendimiento del cultivo de caña de azúcar.

1.1.2. Específicos

Comparar la aplicación de Boro al suelo contra la aplicación foliar de este elemento y su efecto en la producción de caña y azúcar.

Determinar la dosis de Boro económicamente factible, bajo la forma más eficiente de aplicación que optimice la producción de caña y azúcar.

1.2. Hipótesis estadística

1.2.1. Nula

Ho1. Ninguno de los niveles de B y su respectiva forma de aplicación, causará un incremento en la producción de caña y azúcar.

1.2.2. Alternativa

HA1. Al menos uno de los niveles de B y su respectiva forma de aplicación, causará un incremento en la producción de caña y azúcar.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Fertilidad del suelo

Es el resultado de la interacción entre las características, físicas, químicas y biológicas del suelo y su finalidad es proporcionar condiciones que las plantas necesitan para su óptimo crecimiento y desarrollo.

Se debe notar que las características no actúan independientemente, más bien se da una armónica interrelación, y esta juega un papel determinante en la fertilidad del suelo. (12).

2.2. Nutrición de plantas

Es denominado como; un sistema abierto en el que los elementos son constantemente removidos de un lado a otro donde, serán acumulados.

Es de importancia mencionar que se admiten tres formas de nutrición de plantas:

- Nutrición carbonada, mediante la incorporación y transformación del CO₂ en carbohidratos en el proceso fotosintético.
- Nutrición mineral, a través de la absorción radicular de nutrientes en forma aniónica y catiónica simple.
- Nutrición hídrica, es la absorción de agua para la fotosíntesis y con ella absorción de minerales. (12).

2.3. Importancia de los elementos menores en la caña de azúcar

Los elementos menores son conocidos también como oligoelementos, elementos traza o micro nutrientes, por las pequeñas cantidades que demandan las plantas para su desarrollo normal. La ausencia de éstos, produce perturbaciones metabólicas, reducción de rendimientos o muerte de los cultivos. Dependiendo de los niveles, pueden resultar tóxicos para las plantas. Se reconocen siete micronutrientes esenciales para la caña de azúcar: Boro (B), Cobre (Cu), Zinc (Zn), Manganeso (Mn), Molibdeno (Mo), Hierro (Fe) y Cloro (Cl). (4).

Los micronutrientes cumplen funciones esenciales en procesos enzimáticos, en los procesos de óxido-reducción, formación de clorofila, transporte y síntesis de azúcares entre otros, recientemente se ha encontrado que los micronutrientes desempeñan papeles importantes en la resistencia de las plantas al estrés biótico y abiótico (7).

2.4. El boro en la nutrición y la fertilización de los cultivos

Se considera importante en el papel de la nutrición vegetal. Principalmente se da una alta demanda de este elemento, cuando el crecimiento en peso de follaje es más alto; también en la floración y durante el cuajado de frutos. Los órganos reproductivos de la planta, tienen un contenido bastante alto. Además, se ha comprobado que suelos con deficiencia de boro abarcan áreas extensas, más que para cualquier otro micronutriente. (1).

2.5. Absorción y transporte de boro en la planta

El boro es absorbido regularmente bajo la forma de ácido bórico H_3BO_3 , principalmente por los mecanismos de flujo de masas (65%) y difusión (32%).

Otra forma que se absorbe activamente el boro; es como anión borato $B(OH)_4^-$, el proceso de absorción es pasivo en su inicio (por difusión en el espacio libre), seguidamente de absorción activa en el espacio interno; esto no está aún muy claro, parece ser que el componente activo es relativamente pequeño y suele depender de la especie cultivada o de la cantidad de boro asimilable presente.(9).

Se considera relativamente de movilidad baja en las plantas, regularmente los contenidos son mayores en las partes bajas con respecto a las altas de la planta. El ritmo de transpiración ejerce una influencia decisiva sobre el transporte de este elemento hasta las zonas altas de la planta, en caso de deficiencia, los contenidos en los tejidos más jóvenes decrecen rápidamente. (1).

Se afirma que, más que un elemento móvil o inmóvil dentro de la planta, el boro es transportado vía xilema y con dificultad vía floema, con lo que no va desde las hojas hasta los nuevos puntos de crecimiento (frutos, meristemos, hojas en formación, etc.),

donde se resalta la necesidad de suministrar regularmente este y de todos los nutrientes. (4., 8).

2.6. Funciones y síntomas de la deficiencia de B en las plantas

2.6.1. Elongación de raíz y metabolismo de ácidos nucleicos

Como consecuencia de la deficiencia de boro, se presenta un desarrollo incorrecto de los tejidos meristemáticos, tanto en raíz como en los brotes. Los síntomas iniciales se manifiestan en la dificultad en la división y desarrollo celular. Ocurre la división celular, pero no se realiza correctamente, con esto se manifiesta un desarrollo incompleto e irregular de las hojas, que aparecen distorsionadas, y una falta de elongación de los entrenudos. (9).

En el sistema radicular, el B es requerido, principalmente, para la elongación celular y como consecuencia en la división. Un efecto de la deficiencia de boro es la inhibición de la síntesis de ADN y ARN. La alteración en la síntesis de ARN puede deberse a la esencialidad del boro en la síntesis de bases nitrogenadas como el uracilo. Los ribosomas no se pueden formar y como consecuencia la síntesis de proteínas es alterada adversamente. El proceso es de importancia en los tejidos meristemáticos radicales, que detienen su división celular, las raíces aparecen más cortas y abollonadas. (1).

2.6.2. Metabolismo de glúcidos

Importante en la utilización y en la distribución de los glúcidos en la planta. La deficiencia acarrea una acumulación de azúcares en los tejidos. Se cree que el boro facilita el transporte de azúcares. Se ha demostrado la participación de tipo directa del boro en la síntesis de sacarosa y almidón. (1).

2.6.3. Formación de las paredes celulares (lignificación)

Se puede apreciar que una deficiencia de Boro ocasiona oscurecimiento de los tejidos y esto es provocado por la acumulación de compuesto fenólicos. En estos casos, se impide la oxidación de compuestos poli fenólicos y estos contribuyen en la síntesis de

lignina, por lo que las paredes celulares quedan debilitadas. Una acumulación de estos compuestos ocasiona necrosis en el tejido. (1).

Tallos rajados, acorchados o huecos, estos son síntomas macroscópicos de la alteración de la formación de las paredes celulares, esta ocasionada por falta del elemento. A nivel microscópico se pueden observar las paredes celulares de un diámetro mayor y con cantidades altas de material parenquimático. (1).

2.6.4. Metabolismo de fenoles, auxinas y diferenciación de tejidos

La ausencia de este elemento se puede asociar a las alteraciones morfológicas y cambios en la diferenciación de tejidos, similares a los inducidos por niveles bajos o excesivos de AIA. Pero se cree más factible que las interacciones del boro, Auxinas y la diferenciación de tejidos se den como consecuencia de los efectos provocados por el B sobre el metabolismo de fenoles, estos acumulados debido a la deficiencia del elemento. (1).

El boro interviene en el metabolismo de las auxinas. La acumulación de esta fitohormona en exceso, se debe a la ausencia de este elemento, provocando así inhibición de la elongación. También se puede provocar la reducción de citoquininas, por la deficiencia. (1).

2.6.5. Procesos fisiológicos

El uracilo, como se ha encontrado precisa boro para su síntesis, se remarca su importancia debido a que es el precursor de la UDPG (uridin glucosa difosfato), coenzima esencial en la formación de sacarosa, siendo esta la forma en que se transportan los azúcares. Con la inhibición de esta, se ve seriamente alterada la movilización de los asimilados formados en las hojas (floema). (1).

2.6.6. Estabilidad de la membrana celular

Influye directamente en la actividad de los elementos específicos de la membrana celular, por lo tanto se considera esencial para su estabilidad.

2.6.7. Otras funciones del boro

Una adecuada nutrición enfocada en boro, le confiere resistencia al cultivo a un gran número de enfermedades fúngicas, bacterianas, diversas virosis, también a insectos, al parecer porque el boro promueve la síntesis de leucocianidina, tiene la función de sustancia inmunológica. Contribuye a la disminución de daños causados por factores climáticos. (1).

2.7. El boro en el suelo

El B asimilable para las plantas viene a coincidir con la proporción de este elemento que es soluble en agua caliente.

Las cuatro formas en que podemos encontrar el boro son las siguientes:

- Formando parte de minerales silicatados: en porcentaje alto poco disponible para el cultivo.
- Presente en la disolución del suelo.
- Adsorbido por arcillas (principalmente por el tipo mica) e hidróxidos de hierro y aluminio. Esta adsorción alcanza su máximo a pH 8-9.
- Ligado a la materia orgánica, de la que es liberado gradualmente en función de la actividad microbiana.

El contenido de boro total en el suelo varía de 2 a 200 ppm, del cual la mayor parte no es aprovechable por el cultivo, generalmente la cantidad de boro total que puede hallarse de forma asimilable es inferior al 5%. Esto se debe a que pertenece al grupo de los minerales resistentes a la meteorización. (1., 16).

2.8. Factores que afectan la disponibilidad de B

El Boro de reserva en los suelos, generalmente, es bajo en suelos de textura gruesa y pobres en materia orgánica. Los suelos más propensos a sufrir deficiencias son; los formados sobre rocas ígneas en regiones de elevada pluviometría. (1).

La disponibilidad disminuye a razón del aumento de pH del suelo. Esto contribuye a que los suelos alcalinos sean más propensos a presentar inmovilidad y más aún con la

presencia alta de arcillas, debido a la fuerte adsorción del ion borato. El rango en el que la disponibilidad de boro se considera adecuada y la planta es capaz de asimilarla es variable ya que depende de factores propios del suelo. (12).

Las lluvias intensas pueden provocar lavado del B del perfil del suelo, sobre todo en suelos ácidos y de textura gruesa. De la misma manera la sequía prolongada promueve la fijación del elemento, haciéndolo no disponible. En este aspecto, tiene gran importancia la ralentización que sufren los procesos de descomposición de la M.O. esto debido a la alteración de la actividad microbiana. (1).

Una fuerte temperatura e intensidad luminosa, acentúan los síntomas de deficiencia de B; la demanda de boro por la planta se reduce a intensidad luminosa baja.

Interacciones con otros elementos nutritivos. La nutrición nitrogenada en gran cantidad amortiguan los excesos de boro, disminuyendo la absorción de boro por las plantas. Esto también puede ser contraria, ya que una elevada fertilización nitrogenada podría provocar una deficiencia. (1).

Estudios anteriores muestran una sinergia entre las absorciones de boro y fósforo, potasio, calcio y magnesio, estando estos elementos mayores en cantidades no excesivas. Por otra parte, potasio, magnesio, hierro y molibdeno a elevadas concentraciones ejercen un antagonismo en la absorción de boro.

2.9. Corrección de la deficiencia de B

Los boratos de sodio son la fuente clásica de aporte de boro, son utilizadas en aplicaciones al suelo, el ácido bórico y el solubor también pueden ser aplicadas vía foliar al 0.1%, tomando en cuenta su solubilidad y compatibilidad con la mayoría de productos. (1).

Las dosis aplicadas a los suelos oscila entre 0.3 y 3 kg de boro por ha, dependiendo de la sensibilidad del cultivo, el tipo de suelo, la climatología, etc. Se debe tener especial cuidado ya que se puede pasar de una leve deficiencia hasta una situación de alta toxicidad.

2.10. Fuentes de boro

- Bórax ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$). 6%
- Tetraborato sódico ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ o $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$). 99.75%
- Pentaborato sódico ($\text{Na}_2\text{B}_{10}\text{O}_{16} \cdot 10\text{H}_2\text{O}$). 19%
- Solubor ($\text{H}_2\text{B}_8\text{O}_{13} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$). 20.5%
- Ácido bórico (H_3BO_3). 99.5%
- Colemanita ($\text{Ca}_2\text{B}_7\text{O}_{11} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$).

2.11. Fertilización foliar

El método de suministro nutricional vía foliar se ha venido desarrollando. Se reporta en Europa, su aplicación desde hace mucho tiempo, en el cultivo de la vid. En años posteriores se inició con su aplicación intensiva; debido a sus efectos benéficos observados, tal es el caso de los rendimientos y la calidad de los productos. También porque se observaba la poca respuesta de los fertilizantes químicos aplicados al suelo. (9).

Seguido de estos acontecimientos, debido a la alta gama de productos utilizados en la agricultura, mejores técnicas de laboratorio y equipo para el monitoreo y análisis de los nutrientes presentes en los tejidos vegetales, se lograron avances que brindaban mayor certeza en la efectividad de la fertilización foliar. (9).

En años más recientes, por medio de trabajos de investigación se ha logrado demostrar la practicidad de estas metodologías, las cuales se utilizan hoy en día.

En la mayoría de plantas, acontece que toman los nutrientes directamente del suelo, pero la siguiente alternativa suele ser por las hojas y demás órganos. Muchas veces se tiende a confundir la cantidad de demanda con la importancia de los nutrientes, en el metabolismo de las plantas. (9).

2.11.1. Absorción foliar

La hoja es el órgano primario de absorción foliar, en la parte externa, ésta presenta una membrana lipoidal (cutícula), que es quien regula que entra y que sale de este tejido.

Debajo de la cutícula se encuentra la epidermis. La absorción a través de los diferentes tejidos, conlleva un proceso integrado por los siguientes pasos: absorción superficial, penetración pasiva a través de la cutícula, y absorción activa por las células de las hojas debajo de la cutícula. (9).

La cutícula es más permeable a cationes que a los aniones, la hidratación de la cutícula permite su expansión, apartando las concreciones cerosas sobre su superficie, permitiendo con ello una fácil penetración. Una vez pasan los nutrientes de la cutícula, pasan a la membrana de la epidermis. (9).

La solubilidad de producto en agua es determinante en su absorción. Los nutrientes deben ser altamente solubles para lograr atravesar las superficies y entrar en la planta. (9).

2.11.2. Suministro de nutrientes vía foliar

En este método, los nutrientes son aplicados por aspersion sobre la superficie foliar. No se busca una sustitución de la fertilización convencional al suelo, más bien enfocarlo como complemento, este método permite a las plantas la oportunidad de obtener nutrientes que en la fertilización edáfica no son capaces de absorber. Principalmente, para ciertos micronutrientes y cultivos, en determinadas etapas del desarrollo de la planta y del medio, se cree que la aplicación foliar es mucho más ventajosa y a veces más eficiente en la corrección de deficiencia. (9)

La incorporación de nutrientes a través del sistema radicular durante sequías o en suelos salinos está limitada, debido al efecto negativo que ejercen la ausencia de agua y la salinidad sobre la disponibilidad de nutrientes. La eficacia de la fertilización foliar es mayor que la aplicación de fertilizante al suelo en tales situaciones, pues por un lado el nutriente requerido es suministrado directamente sobre el sitio de demanda, lo que permite una absorción relativamente rápida (0,5-2 h para N y 10-24 h para el K) y, por otra parte, la aplicación foliar tiene independencia de la actividad radicular y de la disponibilidad de agua en el suelo. (9).

2.12. Experiencias de la aplicación de B en el cultivo de caña de azúcar en Guatemala y Colombia

Pérez et al, en un estudio exploratorio de las aplicaciones de B y Zn en suelos derivados de ceniza volcánica de Guatemala, en 10 suelos encontró que el efecto de B fue significativo en tres suelos, con incrementos de 7.6, 20.0 y 14.4 por ciento más de caña, respectivamente para un suelo Vertisol arcilloso, Entisol Arenoso y Molisol Franco Arenoso, que tenían bajos contenidos de B en el suelo y bajos contenidos de M.O. Concluye que las aplicaciones foliares de B fueron positivas en corregir las deficiencias de este elemento como las aplicaciones al suelo. (10).

Según evaluación sobre los efectos de la aplicación de micro elementos, en suelos del Valle del Rio Cauca, Colombia, se consideran apropiadas dosis de entre 1 y 3 kg de B/ha, para suelos con contenidos <0.4 ppm de B extraído con agua caliente. (11).

3. MATERIALES Y MÉTODOS.

3.1. Marco referencial

3.1.1. Ubicación geográfica

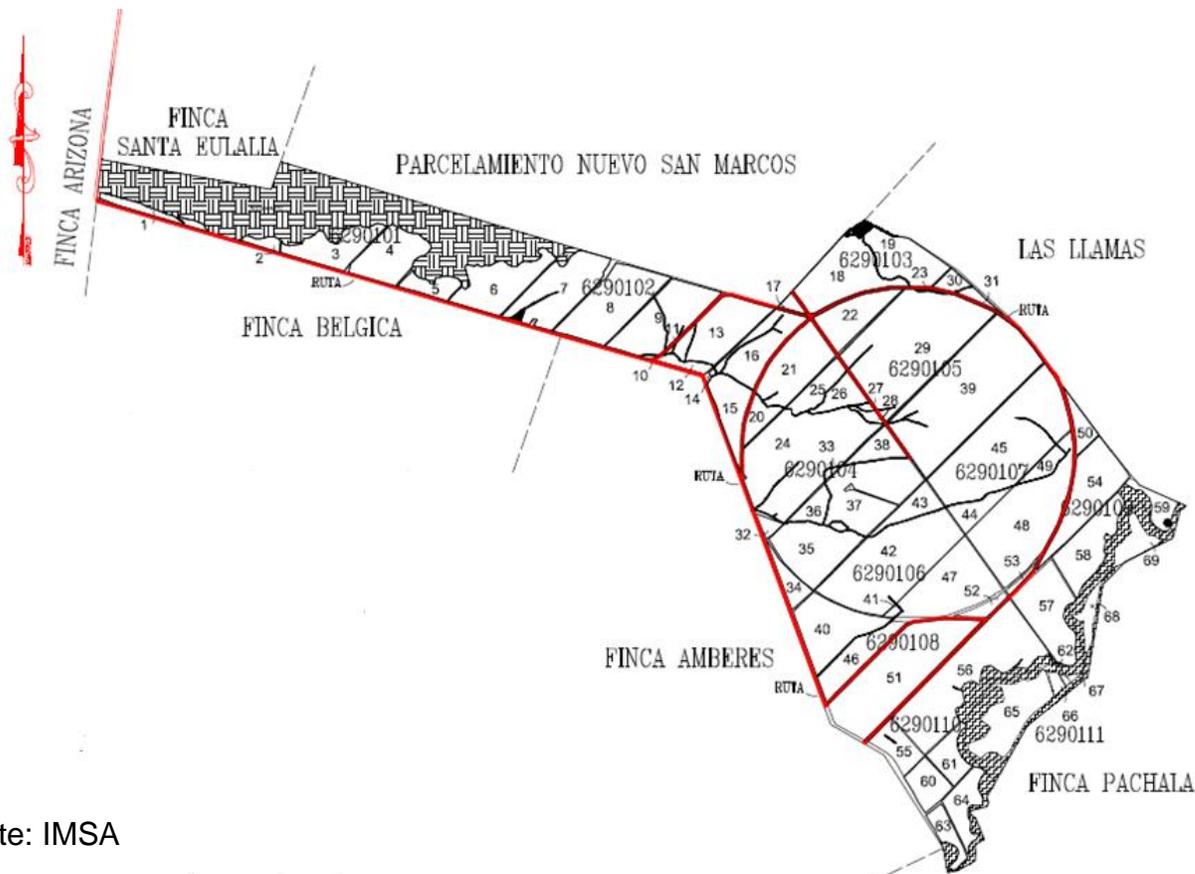
Esta evaluación se realizó en la finca Alaska, correspondiente a la zona tres de la administración Retalhuleu del ingenio Magdalena, ubicada en el Parcelamiento Caballo Blanco del departamento de Retalhuleu, a 216 km de la ciudad Capital, ubicada geográficamente en las coordenadas:

Latitud: 14° 26' 02.4" Norte

Longitud: 91° 55' 31.4" Oeste (14).

La finca Alaska, tiene las siguientes colindancias:

Figura 1: Colindancias de la finca Alaska



Fuente: IMSA

3.1.2. Características físico- biológicas

Altitud:

La región dentro de la cual se encuentra la finca se conoce como la “Planicie costera del pacífico”; esta región comprende varios departamentos desde las partes bajas de San Marcos hasta el departamento de Jutiapa, la elevación va desde los 0 hasta los 300 metros sobre el nivel del mar, el caso de la finca “Alaska” se encuentra a 40 metros sobre el nivel del mar. (14).

Temperatura:

La región no es característica de lluvias excesivas, siempre que no influya algún fenómeno natural, y las temperaturas son altas; el caso de la finca Alaska, varía entre una temperatura máxima de 33 °C y una mínima de 21 °C en promedio, esto según datos proporcionados por la estación meteorológica ubicada en la finca Xoluta (finca matriz). (14).

Precipitación pluvial:

La precipitación que se presenta en la finca “Arizona” varía desde los 1,500 y 2,000 mm al año, esto sin la incidencia de ningún fenómeno climático que pudiera aumentar o disminuir la cantidad de precipitación. (14).

Vientos:

Tayún, F., cita la estación meteorológica ubicada en la finca Xoluta (finca matriz). Por ser un lugar relativamente plano y con poca densidad forestal estas tierras tienden con facilidad, a dejar que las corrientes de vientos se conviertan en ráfagas. La velocidad promedio de estos es de 13.8 kilómetros/hora, con dirección noreste a sureste. (14).

Zonas de vida:

En el municipio de Retalhuleu, existen 3 zonas de vida: La zona Bosque Seco Subtropical, Bosque Húmedo Subtropical (cálido) y Bosque Muy Húmedo Subtropical (cálido). (14).

Ubicando el parcelamiento Caballo Blanco y específicamente la finca “Alaska” en la zona bh-S(c) Bosque húmedo subtropical (cálido). (14).

Bosque Húmedo Subtropical (cálido). La zona comprende una faja de 2 a 10 km de ancho, después del Bosque seco Subtropical. Tiene un patrón de lluvias que van de 1200 mm hasta 2000mm anuales, las temperaturas son alrededor de 27°C. El relieve es de pendientes suaves. La elevación va desde el nivel del mar hasta los 80 msnm. Ocupa la parte media del municipio. (14).

3.1.3. Recursos naturales

Hídricos:

La finca Alaska cuenta con tres pozos de agua, aperturados con el propósito de abastecer el sistema de riego de la finca. Prácticamente el riego se realiza a través de los pozos mecánicos ubicados en los lotes 6290102; 6290104 y 6290108, los tres pozos tienen un caudal de 1.800 gal/min y en el pozo 2 se encuentra instalado el sistema de riego por pivote central fijo y los otros dos abastecen el riego mini-aspersión, estos pozos riegan las 287.87 hectáreas de caña sembrada que tiene la finca que representa el 82.47% del área total (el resto se encuentra excluida, y se encuentra a disposición del departamento de investigación de variedades. (14).

Forestales:

Este recurso si es muy limitado en la finca, las especies forestales se limitan a los cercos y una pequeña área que se encuentra en el casco de la finca, de las especies existentes en el lugar podemos mencionar: Teca (*Tectonagrandis*) Mango (*Mangífera*

indica), Conacaste (*Enterolobium cyclocarpum*), Ceiba (*Ceiba pentandra* L.) y Caulote (*Guazuma ulmifolia*) que son utilizadas especialmente para consumo de leña y madera de los habitantes de la finca, en el caso de algunas especies se utilizan como cerco y se encontrará alrededor de toda la finca, en los zanjones y orillas. (14).

Flora:

La flora del lugar es prácticamente nula, únicamente algunas especies de malezas que proliferan en el lugar como: caminadora (*Rottboellia cochinchinensis*), coyolio (*Cyperus* sp.), estas son las más comunes dentro de las poaceas, en el caso de las malezas de hoja ancha pueden observar algunas especies del generó Ipomoea. (14).

Fauna:

La fauna está constituida principalmente por especies como conejos de monte (*Oryzomys leucogaster*), gavilanes (*Accipiter nisus*), ratas (*Rattus rattus*); serpientes como Cascabel (*Crotalus durissus*) y Coral (*Leptomicrurus*, *Micruroides*); animales domésticos como pollos (*Gallus gallus*) y porcinos (*Sus scrofa*). (14).

Relieve y topografía:

La mayor parte de la finca Alaska es plana, aunque podemos encontrar áreas con bajillos, quíneles que atraviesan la finca; se podría decir que los lotes son de una topografía variada, por lotes podemos encontrarlos en su mayoría planos, con una variación muy pequeña, pero también podemos encontrar lotes que presentan elevaciones y bajillos causando ondulaciones en el relieve. (14).

Suelos:

Los suelos de la finca Alaska; están clasificados como: vertisoles. Suelos con media y alta fertilidad, de textura arcillosa, son los más profundos y evolucionados en la zona, pudiendo presentar problemas de drenaje y con tendencia a la salinidad; cuando están secos se agrietan, cuando húmedos son plásticos y pegajosos, lo cual presenta problemas para el manejo agrícola, riesgos a la ganadería y a las construcciones. (14).

Cuadro 1: Análisis químico de suelo del área de investigación, (0 a 20 cms)



14 Avenida 19-50, Condado El Naranjo, Bodega # 23
 Ofibodegas San Sebastián, Zona 4 de Mixco, Guatemala
 PBX: 2416-2916 Fax: 2416-2917
 info@solucionesanaliticas.com
 www.solucionesanaliticas.com

INFORME DE ANALISIS DE SUELOS

Cliente : INGENIO MAGDALENA S. A. (03972)
 Persona Responsable : ING. EDWIN ANACLETO BARRIOS
 Finca : ALASKA (24146)
 Localización : RETALHULEU
 Referencia Cliente : 2095 LOTE 1-4 PROFUNDIDAD 0-20 MUESTRA A
 Cultivo : CAÑA DE AZÚCAR -Saccharum offi (13)

Número de orden : 92085
 Código de muestra : 15.07.22.04.11
 Fecha de ingreso : 22/07/2015
 Fecha del informe : 28/07/2015
 Asesor : Cesar Reyes

PARAMETROS DE SUELOS	RANGO ADECUADO	
pH	6.64	5.50 _ 7.20
pH (en KCl)	5.38	**
Concentración de Sales (C.S.)	0.16dS/m	0.2 _ 0.8
Materia Orgánica (M.O.)	2.10%	2.0 _ 4.0
C.I.C.e	16.5 meq/100 ml	5.0 _ 15.0
Saturación K	5.93%	4% _ 6%
Saturación Ca	75.09%	60% _ 80%
Saturación Mg	18.98%	10% _ 20%
Saturación Al+H	0.00%	< 20%

ELEMENTO	CONC. ppm (p/v)	NIVELES			RANGO ADECUADO ppm (p/v)	DOSIS Kg/Ha *
		BAJO	ADECUADO	ALTO		
Amonio en KCl	N-NH 4	21.3			**	
Nitrato en KCl	N-NO 3	24.0			**	
Fósforo Olsen Mod.	P-PO4	26.0	XXXXXXXXXX		30 - 75	60 P ₂ O ₅
Fósforo	P	< 10.0	X		30 - 75	60 P ₂ O ₅
Potasio	K	382.0	XXXXXXXXXXXXXXXXXX		300 - 500	100 K ₂ O
Calcio	Ca	2482.0	XXXXXXXXXXXXXXXXXX		2000 -3000	
Magnesio	Mg	376.5	XXXXXXXXXXXXXXXXXX		250 - 500	
Azufre	S	14.6	XXXXXXXXXXXX		10 - 100	60 S
Boro Ext. Agua Caliente B		0.6			**	B ₂ O ₃
Cobre	Cu	6.2	XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX		1 - 7	
Hierro	Fe	104.5	XXXXXXXXXXXXXXXXXX		40 - 250	
Manganeso	Mn	178.0	XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX		10 - 250	
Zinc	Zn	6.3	XXXXXXXXXXXX		2 - 25	
Aluminio	Al	< 8.0	X		< 20% Sat Al	

** No se tienen datos del rango adecuado para este elemento. * Kg/Ha x 1.54 = lbs/mz

Revisado: _____
 Gerente de Laboratorios



Metodología con base en:
 Sparks D.(ed) (1996). Methods of Soil Analysis Part 3: Chemical Methods.
 Soil pH(1:2). Soil: Water Ratio Method.
 Western States Laboratory Proficiency Testing program Soil and Plant Analytical Methods. Versión 4.10.1998

Los resultados de este informe son válidos únicamente para la muestra como fue recibida en el Laboratorio.
 La reproducción parcial del mismo deberá ser autorizada por escrito por Soluciones Analíticas.
 Este informe es válido únicamente en su impresión original

Cuadro 2: Análisis químico de suelo del área de investigación, (20 a 40 cms.)



14 Avenida 19-50, Condado El Naranjo, Bodega # 23
 Ofibodegas San Sebastián, Zona 4 de Mixco, Guatemala
 PBX: 2416-2916 Fax: 2416-2917
 info@solucionesanaliticas.com
 www.solucionesanaliticas.com

INFORME DE ANALISIS DE SUELOS

Cliente : INGENIO MAGDALENA S. A. (03972)
 Persona Responsable : ING.EDWIN ANACLETO BARRIOS
 Finca : ALASKA (24146)
 Localización : RETALHULEU
 Referencia Cliente : 2106 LOTE 1-4 PROFUNDIDAD 20-40 MUESTRA B
 Cultivo : CAÑA DE AZUCAR -Saccharum offi (13)

Número de orden : 92085
 Código de muestra : 15.07.22.04.23
 Fecha de ingreso : 22/07/2015
 Fecha del informe : 28/07/2015
 Asesor : Cesar Reyes

PARAMETROS DE SUELOS	RANGO ADECUADO
pH	6.77
pH (en KCl)	5.52
Concentración de Sales (C.S.)	0.09dS/m
Materia Orgánica (M.O.)	1.92%
C.I.C.e	15.8 meq/100 ml
Saturación K	4.98%
Saturación Ca	75.46%
Saturación Mg	19.57%
Saturación Al+H	0.00%

ELEMENTO	CONC. ppm (p/v)	NIVELES			RANGO ADECUADO ppm (p/v)	DOSIS Kg/Ha *
		BAJO	ADECUADO	ALTO		
Amonio en KCl	N-NH 4	15.6			**	
Nitrato en KCl	N-NO 3	33.0			**	
Fósforo Olsen Mod.	P-PO4	18.0	XXXXXX		30 - 75	60 P ₂ O ₅
Fósforo	P	< 10.0	X		30 - 75	60 P ₂ O ₅
Potasio	K	307.3	XXXXXXXXXX		300 - 500	100 K ₂ O
Calcio	Ca	2390.0	XXXXXXXXXXXXXX		2000 -3000	
Magnesio	Mg	371.9	XXXXXXXXXXXXXX		250 - 500	
Azufre	S	15.2	XXXXXXXXXX		10 - 100	60 S
Boro Ext. Agua Caliente B		0.5			**	B ₂ O ₃
Cobre	Cu	5.9	XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX		1 - 7	
Hierro	Fe	105.9	XXXXXXXXXXXXXX		40 - 250	
Manganeso	Mn	172.2	XXXXXXXXXXXXXX		10 - 250	
Zinc	Zn	4.5	XXXXXXXXXX		2 - 25	
Aluminio	Al	< 8.0	X		<20% Sat Al	

** No se tienen datos del rango adecuado para este elemento. * Kg/Ha x 1.54 = lbs/mz

Metodología con base en:
 Sparks D.(ed) (1996). Methods of Soil Analysis Part 3: Chemical Methods.
 Soil pH(1:2). Soil: Water Ratio Method.

Western States Laboratory Proficiency Testing program Soil and Plant Analytical Methods. Versión 4.10,1998

Los resultados de este informe son válidos únicamente para la muestra como fue recibida en el Laboratorio.
 La reproducción parcial del mismo deberá ser autorizada por escrito por Soluciones Analíticas.
 Este informe es válido únicamente en su impresión original

Revisado: 
 Gerente de Laboratorios



3.2. Metodología

3.2.1. Descripción de la investigación

En esta investigación se evaluaron dos formas de aplicación del elemento boro (suelo y foliar) de forma complementaria a la fórmula granulada de NPKS para la nutrición de la caña de azúcar. Se contó con un análisis de suelo para determinar la disponibilidad de boro en el suelo. Esta investigación se realizó en una plantación en su segunda soca (3 años) de la variedad CG 9878 con un distanciamiento de 1.80 metros.

3.2.2. Diseño experimental

Los tratamientos se evaluaron bajo un diseño experimental de bloques completos al azar con 4 repeticiones, bajo las condiciones de finca Alaska. Se utilizó este diseño debido a que el área donde se estableció el experimento tiene leves variaciones principalmente en su topografía, en las que podemos notar la necesidad de tener cierto control. Se dividió en bloques, estos se colocaron en forma perpendicular a la gradiente de variabilidad por lo que existió heterogeneidad entre bloques, buscando que las unidades experimentales dentro de cada bloque fueran lo más homogéneas posible. Una de las ventajas de la utilización de este diseño es que se disminuye la fuente de variación del error con lo que se logra mayor precisión. (2).

3.2.3. Descripción de los tratamientos

Las frecuencias de aplicación y dosis fueron establecidas según las especificaciones técnicas respecto a la nutrición del cultivo y recomendaciones del departamento de investigación agrícola del Ingenio Magdalena, empresa para la que se realizó la investigación. Los tratamientos fueron dos formas de aplicación del elemento boro (suelo y foliar) y cada una de ellas con cinco dosis de aplicación (1, 2, 3, 4 y 5 kg B/ha aplicado al suelo y 0.25, 0.35, 0.45, 0.55 y 0.65 kg B/ha aplicado foliar) y se incluyó el testigo o control respectivo sin aplicación de B. A cada tratamiento foliar se le adicionó adherente Wetagro (0.3 L/Ha) y full acid como corrector de pH (0.20 L/Ha).

La aplicación al suelo se realizó juntamente con la fórmula de fertilización base NPKS que se aplicó a los 45 ddc (días después de corte), posteriormente se hicieron las aplicaciones vía foliar a los 90 y 150 ddc. En el cuadro 3 se encuentra la descripción de tratamientos.

Cuadro 3: Descripción de tratamientos.

TRATAMIENTO	DESCRIPCION DEL TRATAMIENTO	DOSIS DE B (Kg/ha)
1	BS1	1
2	BS2	2
3	BS3	3
4	BS4	4
5	BS5	5
6	BF1	0.25
7	BF2	0.35
8	BF3	0.45
9	BF4	0.55
10	BF5	0.65
11	Testigo o control	0

Fuente: Elaboración propia.

Todos los tratamientos foliares fueron complementados con adherente y regulador de pH.

3.2.4. Modelo matemático

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + E_{ij}$$

En donde:

Y_{ij} = Variable de respuesta de la ij-ésima unidad experimental.

μ = Efecto de la media general

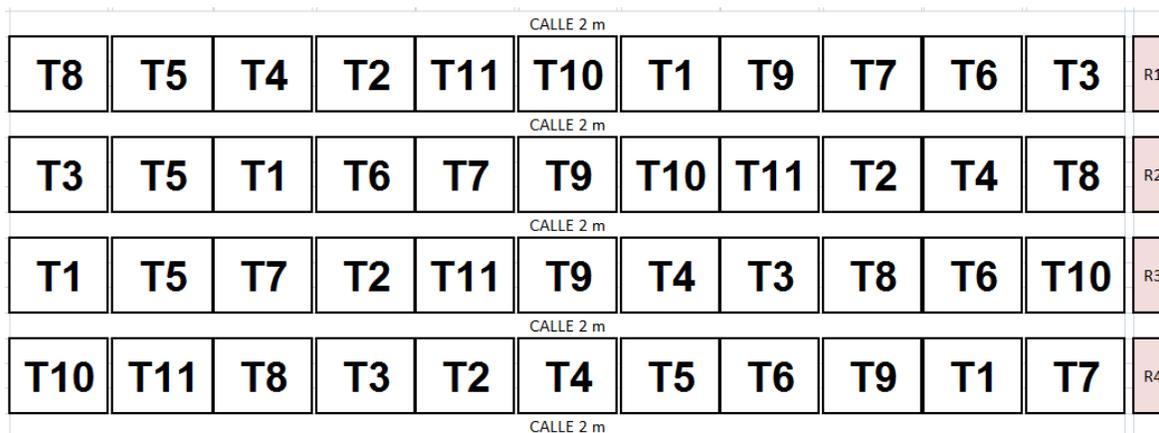
τ_i = Efecto del i-ésimo tratamiento

β_j = Efecto del j-ésimo bloque

E_{ij} = Efecto del error experimental asociado a la ij-ésima unidad experimental. (8).

3.2.5. Croquis del ensayo de campo

Figura 2: Croquis del ensayo.



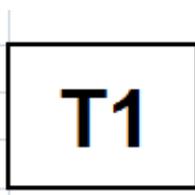
Fuente: elaboración propia.

Cuadro 4: Áreas y dimensiones del ensayo.

AREA BRUTA	44 PARCELAS (10 m x 9 m) 90 m ²	3960 m ²	0.396 HA
CALLES	5 CALLES (2 m x 99 m)	990 m ²	0.099 HA
AREA NETA	(10 m x 5.4) 54 m ² x 44 PARCELAS	2376 m ²	0.237 HA
AREA TOTAL	4 BLOQUES (44 PARCELAS) + 5 CALLES	4950 m ²	0.495 HA

Fuente: elaboración propia.

3.2.6. Unidad experimental



Cuadro 5: Áreas y dimensiones de la unidad experimental.

ANCHO	5 SURCOS	9 m	
LARGO	10 m	10 m	
PARCELA NETA	3 SURCOS (5.4 m) * 10 m LARGO	54 m ²	
AREA TOTAL	UNIDAD EXPERIMENTAL	90 m ²	0.009 HA

Fuente: elaboración propia.

3.2.7. Variables de respuesta

3.2.7.1. Rendimiento de caña, concentración de sacarosa y rendimiento de azúcar
La variable TCH se refirió al peso de las toneladas de caña producidas por hectárea. A la hora de la cosecha se realizó un análisis de producción de caña, el cual evaluó las toneladas de caña por hectárea. Esto se realizó directamente en campo después del corte manual de cada una de las parcelas. Este dato se obtuvo pesando las maletas que contenían la totalidad de tallos.

La variable KATC midió la cantidad de kilogramos de azúcar producidos por tonelada de caña. Previo a cosecha se seleccionaron 5 tallos del área de muestreo. Los tallos seleccionados fueron aquellos que mostraban mayor biometría y apariencia de ser tallos molederos. Se cortó en varias secciones el tallo hasta que se llegó a tener toletes de 40 a 50 centímetros de largo y se mandó al laboratorio de caña dentro del Ingenio. Allí se realizaron pruebas de sacarosa, en donde se midieron los grados brix, pol, y de pureza de los jugos extraídos. Este dato se expresó en kilogramos de azúcar por tonelada de caña.

La variable TAH midió la cantidad de toneladas de azúcar que se producen a partir de una hectárea. Para la realización de esta variable se multiplicaron las toneladas de caña por hectárea por el rendimiento de azúcar dividido dentro de 1000 (kg), para obtener la productividad en toneladas métricas.

3.2.7.2. Biometría

A la edad de 7 meses, se tomaron datos de población, diámetro y altura de tallos en todas las unidades experimentales, Para la población de tallos, se contaron todos los tallos maduros presentes en el surco central de cada unidad experimental; este dato es expresado en tallos por metro lineal. El diámetro se midió con un vernier (cms) en la parte baja, media y alta del tallo. Para la variable altura de tallos expresada en metros, se midió la longitud de 5 tallos al azar, desde el nivel del suelo hasta la última lígula visible de cada tallo con una cinta métrica.

3.2.7.3. Relación beneficio/costo

Se cuantificó la relación entre el costo de cada tratamiento y el beneficio que genera. Para medir la relación beneficio/costo se utilizó el dato de productividad de cada tratamiento debido a que este afecta directamente las finanzas de la empresa y además integra directamente las toneladas de caña por hectárea y el rendimiento de kilogramos de azúcar que se obtuvo por tonelada de caña, esta relación se estableció utilizando los costos y beneficios marginales de cada tratamiento.

3.2.8. Manejo agronómico del cultivo

3.2.8.1 Desbasurado y requema

Esta actividad se realizó después de la cosecha, el objetivo era dejar el terreno libre de los restos de la cosecha anterior.

3.2.8.2 Descarne

Esta labor provee al cultivo de alrededor 0.35 – 0.40 m de roturación para facilitar la exploración radicular y así reducir la compactación provocada por la mecanización de las labores que se realizan durante el ciclo del cultivo.

3.2.8.3 Riego

Este se enfoca en proveer a la cepa de la humedad adecuada, para promover la emergencia de los brotes de caña, para el nuevo ciclo, de la misma manera se aprovecha esta humedad para realizar la aplicación pre-emergente de herbicidas y proveer de la lámina requerida en el ciclo de riego que el cultivo demanda.

3.2.8.4 Aplicación de herbicidas

Es una mezcla de productos de origen químico sintético, con la finalidad de proveer al cultivo de la suficiente ventaja sobre la flora espontánea, ya que de no realizarse esta actividad, la presión ejercida por las malezas, provocaría una baja en producción y rendimiento. La época de aplicación de estos productos es preemergencia total.

3.2.8.5 Delimitación de Parcelas (Estaquillado)

Se seleccionó el área a evaluar y se trazó el ensayo antes mencionado.

En cada parcela que constituyeron los tratamientos, se colocaron estacas en sus cuatro esquinas. La altura de las estacas fue de 1.0 m.

3.2.8.6 Fertilización base

Se aplicó una fertilización base (NPKS), en todas las parcelas de acuerdo al Programa de Fertilización comercial de la Finca, proporcionada por el Departamento de Investigación del ingenio, que se adecuó a los resultados del análisis de suelo de la finca Alaska, específicamente del lote 6290104. La aplicación base se realizó 16 de mayo de 2015 (45 ddc).

Previo a las aplicaciones se realizó un muestreo de suelos del área de la investigación, que posteriormente se envió al laboratorio para su análisis (ver cuadro 1 y 2).

3.2.8.7. Aplicación de los tratamientos

La aplicación de los tratamientos con B al suelo se realizó juntamente con la fertilización base (40-45 ddc). Los tratamientos con B foliar se hicieron en dos aplicaciones, la primera se realizó a los 90 días (30/06/2015) y la segunda a los 150 (31/08/2015) días después de corte.

3.2.8.8. Pre cosecha

Se tomaron muestras de caña en el campo el 05/03/2016, antes de la cosecha.

Estas muestras se analizaron en el laboratorio de acuerdo con el método para obtener contenidos de sacarosa, brix, pol y pureza.

3.2.8.9. Cosecha

Al momento de la cosecha (11/03/2016) se procedió al corte de la caña individual en cada parcela, esta actividad se realizó manualmente; se hicieron maletas con los tallos cortados, procurando pesar la totalidad de caña cortada por parcela neta, fue en ese momento donde se obtuvieron los datos de producción por hectárea.

3.2.9. Análisis de la investigación

Los datos se analizaron con el paquete estadístico INFOSTAT en un análisis de varianza para bloques completos al azar, a fin de detectar diferencia estadística entre los tratamientos con un nivel de significancia del 5%. Posterior al ANDEVA se realizó un análisis de contrastes para verificar en dos grupos los resultados obtenidos, ya que estos fueron aplicados en dos formas.

Se realizaron análisis de regresión en forma separada relacionando las dosis de B aplicado al suelo y las dosis de B aplicados en forma foliar contra las variables medidas (rendimiento de caña, concentración de sacarosa y rendimiento de azúcar).

La dosis óptima económica de B según respuesta obtenida se estableció a partir de igualar la primera derivada de la ecuación a la relación de precios del insumo

(costo de 1 kg de B) contra el producto (precio de la tonelada de azúcar) denominada Relación I/P, en este caso llamado Relación Costo del B (RCB). Esto es $dy/db=RCB$

3.2.10. Análisis económico

Se determinó la relación beneficio/costo, en donde se evaluó el costo por tratamiento y el beneficio que se recibe de cada uno. Esta relación se realizó con base en la productividad que se alcanzó en cada tratamiento.

3.2.11. Recursos

Cuadro 6: Presupuesto de la investigación.

RECURSOS/ACTIVIDAD		UM	Valor unitario	Planificación	Establecimiento del ensayo	Limpias	Aplicación al suelo 40-45 DDC	Aplicación follar 90 DDC	Aplicación follar 150 DDC	Monitoreo	Cosecha	Resultados	Total U	Valor total	
HUMANO	JORNALES	Unidad	\$ 9.98	-	5	6	2	2	2	6	4	-	27	\$269.46	
FISICO	ESTACAS	Unidad	\$ 0.39	-	126	-	-	-	-	-	-	-	126	\$ 49.14	
	FERTILIZANTE	46-0-0	qq	\$30.62	-	-	-	1.37	-	-	-	-	-	1.37	\$ 41.95
		0-46-0	qq	\$23.96	-	-	-	0.46	-	-	-	-	-	0.46	\$ 11.02
		0-0-60	qq	\$33.28	-	-	-	0.53	-	-	-	-	-	0.53	\$ 17.64
		21-0-0-24	qq	\$19.97	-	-	-	0.87	-	-	-	-	-	0.87	\$ 17.37
		Solubor	Kilogramo	\$11.45	-	-	-	15	2.25	2.25	-	-	-	19.5	\$220.28
ROTULOS	Unidad	\$ 0.26	-	48	-	-	-	-	-	-	-	48	\$ 12.48		
ECONOMICOS	IMPRESIONES	Unidad	\$ 0.13	35	-	-	-	-	-	-	-	100	135	\$ 17.55	
	INTERNET	Horas	\$ 0.66	15	-	-	-	-	-	-	-	15	30	\$ 19.80	
	FOTOGRAFIAS	Unidad	\$ 0.39	12	-	-	-	15	15	15	20	-	77	\$ 30.03	
Total														\$726.72	

4. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. Rendimiento de caña, concentración de sacarosa y rendimiento de azúcar

La variable rendimiento de caña se midió en toneladas de caña por hectárea, comúnmente conocido como TCH; la concentración de sacarosa en kg de azúcar por tonelada de caña (KATC) y el rendimiento de azúcar como toneladas de azúcar por hectárea (TAH). Las medias de los tratamientos para las tres variables indicadas se presentan en el Cuadro 7.

Cuadro 7: Medias de las variables de rendimiento y producción.

TRAT	Forma de aplicación de B	Dosis de B (kg B/ha)	TCH	KATC	TAH
1	Suelo	1	153.54	101.16	15.54
2	Suelo	2	147.77	102.77	15.19
3	Suelo	3	158.95	106.15	16.87
4	Suelo	4	146.76	101.09	14.83
5	Suelo	5	158.62	100.17	15.9
6	Foliar	0.25	163.48	101.03	16.52
7	Foliar	0.35	146.8	103.93	15.26
8	Foliar	0.45	157.6	107.71	16.98
9	Foliar	0.55	153.81	106.34	16.36
10	Foliar	0.65	149.92	104.84	15.72
11	Testigo	0	153.26	98.51	15.1

Fuente: Autor.

En el cuadro 7 se aprecia que en promedio el tratamiento 4 (4 kg B/ha al suelo) produjo el rendimiento de caña más bajo con 146.76 TCH, en tanto que el tratamiento con el más alto rendimiento fue el tratamiento 6 (0.25 kg B/ha en forma foliar) con 163.48 TCH. Por otro lado, en la variable concentración de sacarosa (KATC) el valor más bajo fue obtenido con el tratamiento sin B (testigo) con 98.5 KATC y el valor más alto de concentración fue alcanzado con el tratamiento 8 (0.45 kg de B/ha foliar). En cuanto al rendimiento de azúcar (TAH) que es la variable que integra las dos anteriores los valores más bajos fueron obtenidos con el T4 y el testigo sin B con 14.8 y 15.1 TAH respectivamente en tanto que el más alto fue alcanzado con el tratamiento 8 (0.45 kg B/ha foliar) con 16.98 TAH.

El análisis de varianza para cada una de las variables analizadas se presenta en el Cuadro 8.

Cuadro 8: Resumen del ANDEVA para las variables de rendimiento y producción.

FV	GL	TCH		KATC		TAH	
		SC	Pr>F	SC	Pr>F	SC	Pr>F
Trat	10	1232.78	0.0001 **	346.12	0.0008 **	22.04	0.0001 **
Bloque	3	17.81	0.53 NS	35.98	0.22 NS	1.53	0.14 NS
Error	30	237.42		236.56		7.96	
CV (%)		1.83		2.72		3.25	

*= Diferencia significativa ($p < 0.05$ y > 0.01). **= Diferencia altamente significativa ($p < 0.01$). NS= Diferencia no significativa ($p > 0.05$).

Fuente: Autor.

Los análisis de varianza indicaron que el efecto de los tratamientos fue estadísticamente significativo ($p < 0.01$) en las tres variables analizadas. Estos resultados indican que al menos uno de los tratamientos (combinación de formas de aplicación y dosis) tuvo un efecto diferente en las variables analizadas por lo que se rechaza la hipótesis nula y se realizó la prueba de medias utilizando contrastes a una significancia del 5%. (6).

En los Cuadros 9, 10 y 11 se presentan respectivamente las comparaciones de medias de los tratamientos contra el testigo sin aplicación de las variables TCH, concentración de sacarosa y rendimiento de azúcar.

Cuadro 9: Análisis de contrastes, rendimiento de caña contra el testigo.

Comparación	TCH		
	Diferencia	p > F	
1 kg BS vs testigo	0.28	0.89	NS
2 kg BS vs testigo	-5.49	0.01	**
3 kg BS vs testigo	5.69	0.01	**
4 kg BS vs testigo	-6.5	0.00	**
5 kg BS vs testigo	5.36	0.01	**
0.25 BF vs testigo	10.22	0.00	**
0.35 BF vs testigo	-6.46	0.00	**
0.45 BF vs testigo	4.34	0.04	*
0.55 BF vs testigo	0.55	0.78	NS
0.65 BF vs testigo	-3.34	0.10	NS

Fuente: Autor.

Para la variable rendimiento de azúcar, según cuadro 9 se aprecia que con excepción de la aplicación de 1 kg de Boro al suelo y de la aplicación de las dosis de 0.55 kg y 0.65 kg de Boro foliar, la diferencia entre las medias fue significativa. Sin embargo, es evidente que en algunos casos la diferencia fue positiva a favor de la aplicación de Boro y en otros casos la diferencia fue negativa (marcado con signos negativos), este ocurrió tanto para la aplicación al suelo como para las aplicaciones foliares. Este comportamiento variable no marca una tendencia clara de los efectos del Boro en las toneladas de caña por hectárea, como se mostrará más adelante con los análisis de dispersión y regresión.

Cuadro 10: Análisis de contrastes, concentración de sacarosa contra el testigo.

Comparación	KATC		
	Diferencia	p > F	
1 kg BS vs testigo	2.65	0.19	NS
2 kg BS vs testigo	4.26	0.04	*
3 kg BS vs testigo	7.64	0.00	**
4 kg BS vs testigo	2.58	0.20	NS
5 kg BS vs testigo	1.66	0.41	NS
0.25 BF vs testigo	2.52	0.22	NS
0.35 BF vs testigo	5.42	0.01	**
0.45 BF vs testigo	9.2	0.00	**
0.55 BF vs testigo	7.83	0.00	**
0.65 BF vs testigo	6.33	0.00	**

Fuente: Autor.

Se observa en el cuadro 10 que los tratamientos aplicados al suelo en dosis de 2 y 3 kg de B/ha fueron superiores al testigo en cuanto a la concentración de sacarosa superando en 4.2 y 7.64 KATC respectivamente al testigo. Se observa que dosis mayores de B (> 3 kg) aplicados al suelo no aumentaron la sacarosa. Sin embargo en cuanto a las aplicaciones foliares, es evidente que dosis arriba de 0.25 kg de B/ha en todos los casos la diferencia fue positiva y significativa a favor de la aplicación de Boro con respecto al testigo sin aplicación, con resultados bastante congruentes. Este comportamiento marca una tendencia clara de los efectos del Boro en la concentración de azúcar, como se mostrará más adelante.

Cuadro 11: Análisis de contrastes, rendimiento de azúcar contra el testigo.

Comparación	TAH		
	Diferencia	p > F	
1 kg BS vs testigo	0.44	0.24	NS
2 kg BS vs testigo	0.09	0.82	NS
3 kg BS vs testigo	1.77	0.00	**
4 kg BS vs testigo	-0.27	0.47	NS
5 kg BS vs testigo	0.8	0.04	*
0.25 BF vs testigo	1.42	0.00	**
0.35 BF vs testigo	0.16	0.66	NS
0.45 BF vs testigo	1.88	0.00	**
0.55 BF vs testigo	1.26	0.00	**
0.65 BF vs testigo	0.62	0.10	NS

Fuente: Autor.

En cuanto a la variable rendimiento de azúcar (TAH) en el cuadro 11 se observa que la aplicación al suelo de 3 kg de B superó significativamente al testigo sin aplicación en 1.77 TAH y en menor grado lo hizo la dosis alta (5 kg) pero en este caso marcado por la influencia de la variabilidad de los datos del rendimiento de caña que ya fue comentado. En cuanto a las aplicaciones foliares se observa que en todos los casos las diferencias fueron positivas a favor de los tratamientos con B aunque solamente las dosis de 0.25, 0.45 y 0.55 kg de B/ha superaron significativamente al testigo siendo mayor la diferencia con la dosis de 0.45 kg.

Curvas de tendencia de respuesta a Boro

Aplicaciones de B al suelo (dispersión y tendencia)

En las Figuras 3, 4 y 5 se presenta la dispersión de los datos y la tendencia de respuesta promedio respectivamente para el rendimiento de caña, concentración de sacarosa y rendimiento de azúcar, para las aplicaciones al suelo.

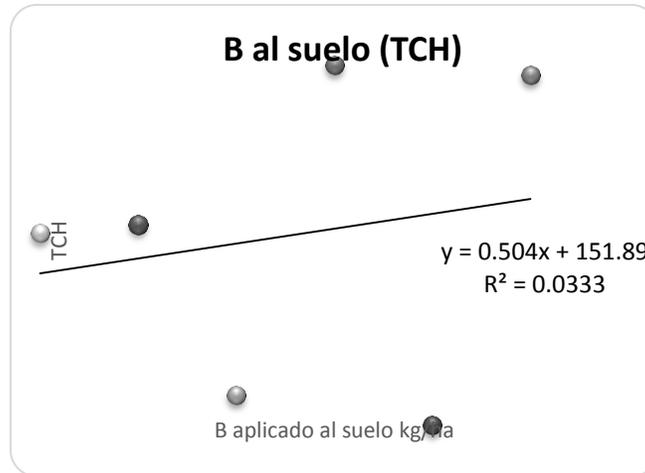


Figura 3: Dispersión y tendencia de respuesta al B aplicado al suelo para TCH.

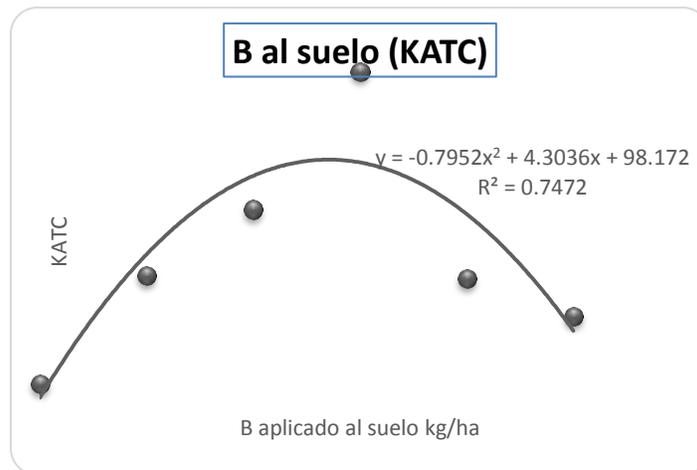


Figura 4: Dispersión y tendencia de respuesta al B aplicado al suelo para KATC.

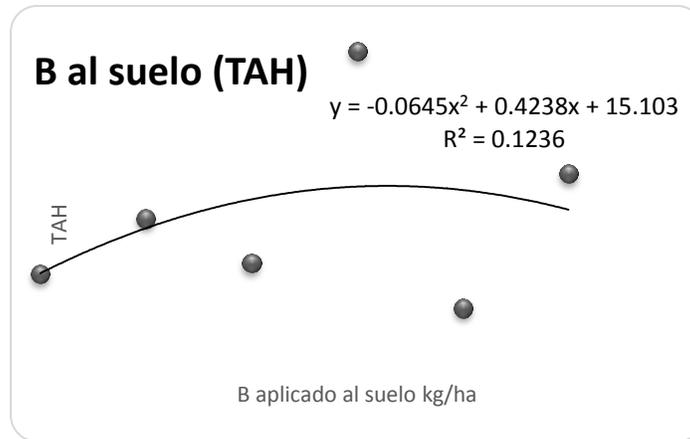


Figura 5: Dispersión y tendencia de respuesta al B aplicado al suelo para TAH.

En las figuras anteriores se puede observar que las aplicaciones de B al suelo tienen un efecto solamente en la concentración de sacarosa mostrando una tendencia cuadrática con un R^2 adecuado de 0.74. En tanto que es evidente que las variables rendimiento de caña y rendimiento de azúcar no muestran alguna tendencia mostrada por la dispersión y los R^2 muy bajos.

De la ecuación de regresión de B al suelo vs KATC $y=98.17 + 4.30x - 0.795x^2$ se deduce que la dosis de B para alcanzar la máxima concentración de sacarosa es de 2.70 kg de B/ha (igualando a "0" la primera derivada de la ecuación). Esto comprueba los resultados anteriormente analizados y confirma que el boro forma parte importante en los procesos de síntesis y concentración de azúcares en la caña, razón por la cual la productividad aumenta.

Aplicaciones foliares de B (dispersión y tendencia)

En las Figuras 6, 7 y 8 se presenta la dispersión de los datos y la tendencia de respuesta promedio respectivamente para el rendimiento de caña, concentración de sacarosa y rendimiento de azúcar, por separado para las aplicaciones foliares.

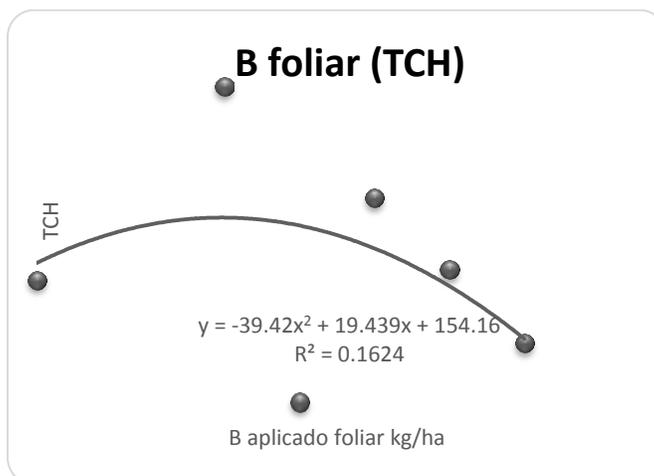


Figura 6: Dispersión y tendencia de respuesta al B aplicado foliar para TCH.

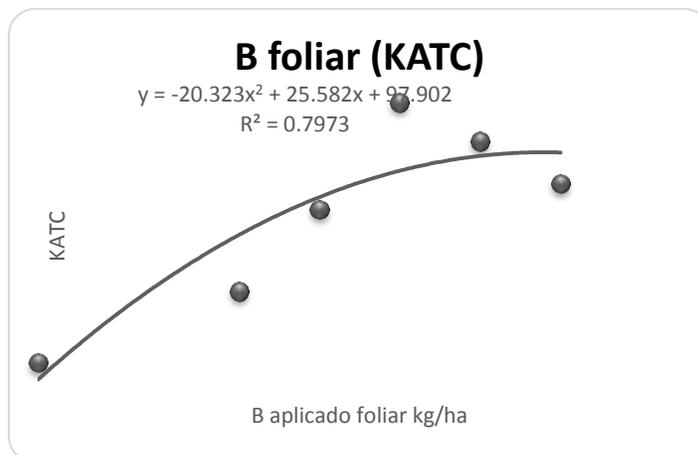


Figura 7: Dispersión y tendencia de respuesta al B aplicado foliar para KATC.

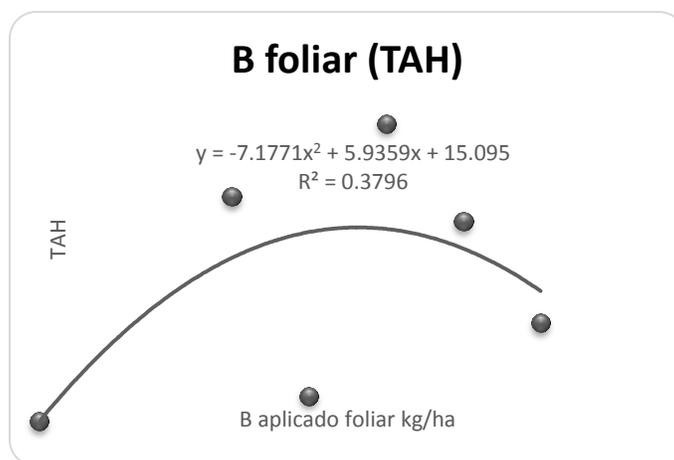
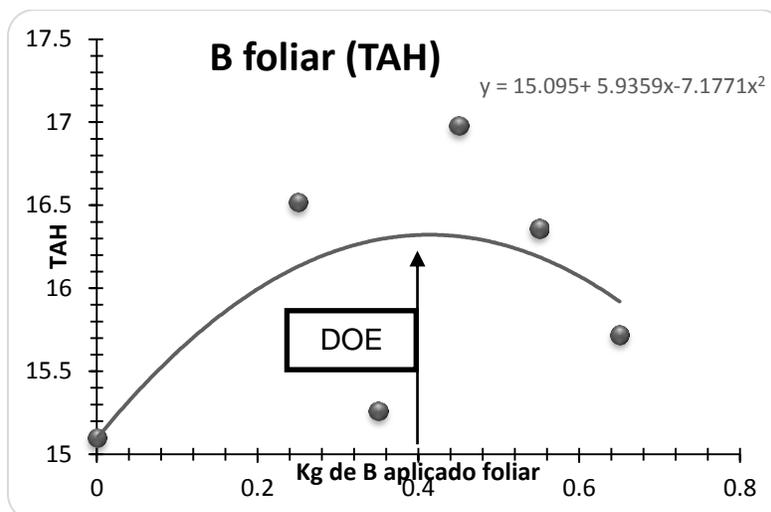


Figura 8: Dispersión y tendencia de respuesta al B aplicado foliar para TAH.

En la figura 7 se demostró que para la variable KATC efectivamente existe una asociación entre los niveles de B y la concentración de azúcar, apreciando en la distribución de los puntos una tendencia directa y positiva. Esta respuesta corrobora lo encontrado para las aplicaciones de B al suelo que ya se comentó. La respuesta indica una tendencia de tipo cuadrática $y=97.9 + 25.58x - 20.32x^2$ con un coeficiente de regresión adecuado de 0.80. De la función de regresión se deduce que la concentración más alta de sacarosa se alcanza con la aplicación foliar de 0.60 kg de B/ha para un rendimiento esperado de 105.9 KATC. Sin embargo en términos de toneladas de azúcar por hectárea de acuerdo a la función de regresión cuadrática ($y=15.09 + 5.936x - 7.177x^2$) se deduce que la dosis para alcanzar el máximo TAH es con la aplicación de 0.41 kg de B/ha (derivado de la ecuación reportada en la figura 8) muy cerca de la dosis del tratamiento 8 (0.45 kg de B/ha).

La dosis óptima económica de B aplicado en forma foliar se determinó igualando la primera derivada ($dy/db=5.936 - 2(7.177)$) de la ecuación $y=15.09 + 5.936x - 7.177x^2$ con la relación I/P o RCB. Considerando el costo de 1 kg de B en US\$ 11.34 y la tonelada de azúcar en US\$ 170 (precio ingenio Magdalena) se tiene una Rel I/P o RCB de 0.06, de tal manera que la dosis óptima económica de B fue determinada **en 0.41 kg de B/ha** ($DOEB= (-5.936 - 0.06)/ (-2(7.177))$)

La dosis óptima económica de B se presenta en forma gráfica en la Figura 9.



1 Ton de azúcar (precio comercial) = US\$ 170.00

1 qq Solubor = US\$ 105.66 / 9.3 Kg B = US\$ 11.36 por Kg de N

Figura 9: Estimación de la dosis óptima económica de B de la función para TAH.

Es importante indicar que se obtuvo respuesta a B principalmente en la variable concentración de sacarosa, a pesar que el suelo tenía 0.50 ppm de B, lo que indica que para suelos arcillosos como el aquí evaluado, los niveles críticos de B pueden ser más amplios cuando los niveles de MO del suelo son bajos como lo indica Pérez et al. 2014. (10).

4.2. Análisis de la biometría

La variable de población, se expresó en número de tallos por metro lineal con vigor para llegar a ser molederos; la variable diámetro se midió en la parte baja, media y alta del tallo, tomando para esta un promedio de las mediciones; para la variable altura de tallos se midió la longitud de 5 tallos al azar expresándose en metros.

En el cuadro 12 se presentan las medias para las variables altura, población y diámetro de tallos que fueron las variables biométricas medidas.

Cuadro 12: Medias de las variables biométricas.

T	Forma de aplicación de B	Dosis de B (kg B/ha)	ALTURA (mts)	POBLACION Tallos/ml	DIAMETRO (cms)
1	Suelo	1	2.34	14.94	2.82
2	Suelo	2	2.38	15.02	2.84
3	Suelo	3	2.37	16.29	2.76
4	Suelo	4	2.35	15.13	2.86
5	Suelo	5	2.24	14.80	2.89
6	Foliar	0.25	2.34	16.00	2.91
7	Foliar	0.35	2.34	15.09	2.84
8	Foliar	0.45	2.36	14.78	2.81
9	Foliar	0.55	2.3	14.39	2.82
10	Foliar	0.65	2.2	15.35	2.82
11	Sin aplicación	0	2.2	15.35	2.80

Fuente: Autor.

En el cuadro 12: se encuentra el comportamiento de las medias de cada variable según el efecto de los tratamientos (forma y dosis de aplicación); el comportamiento observado de las medias para cada una de las variables biométricas manifestó variabilidad estadística entre los datos obtenidos, con lo que se pueden establecer los valores más altos y valores más bajos; para la variable ALTURA con el T2 (2 kg/ha aplicados al suelo) se alcanzó 2.38 metros y con el T10 (0.65 kg/ha aplicado foliar) y el T11 (sin aplicación) se alcanzaron 2.2 metros; para POBLACION se obtuvo con el T3 (3 kg/ha aplicados al suelo) 16.29 tallos/metro lineal y con el T9 (0.55 kg/ha aplicado foliar) 14.39 tallos/metro lineal.

El análisis de varianza para cada una de las variables analizadas se presenta en el Cuadro 13.

Cuadro 13: Resumen del análisis de varianza para las variables biométricas.

FV	GL	ALTURA		POBLACION		DIAMETRO	
		SC	Pr>F	SC	Pr>F	SC	Pr>F
Trat	10	0.17	0.0001 **	11.97	0.0001 **	0.07	0.04 *
Bloque	3	0.0026	0.34 NS	3.21	0.0038 **	0.026	0.05 NS
Error	30	0.022		5.81		0.094	
CV (%)		1.19		2.89		1.97	

*= Diferencia significativa ($p < 0.05$ y > 0.01). **= Diferencia altamente significativa ($p < 0.01$). NS= Diferencia no significativa ($p > 0.05$).

Fuente: Autor.

El análisis de varianza indicó que hubo efectos altamente significativos de los tratamientos en las variables altura y población a una probabilidad de $p < 0.01$ y en forma significativa ($p < 0.05$) en la variable diámetro de tallos. Estos resultados indican que más de alguno de los tratamientos (combinación de formas de aplicación y dosis) tuvo un efecto diferente en las variables analizadas, por lo que se rechaza la hipótesis nula y se realizó la prueba de medias utilizando contrastes. (6).

En los Cuadros 14, y 15 se presentan respectivamente las comparaciones de medias de los tratamientos contra el testigo sin aplicación para las variables altura, población y diámetro de tallos.

Cuadro 14: Análisis de contrastes, altura y población contra el testigo.

Comparación	Altura (mts)			Población (tallos/ml)		
	Diferencia	Pr > F		Diferencia	Pr>F	
1 kg BS vs testigo	0.14	0.00	**	-0.41	0.2	NS
2 kg BS vs testigo	0.18	0.00	**	-0.33	0.3	NS
3 kg BS vs testigo	0.17	0.00	**	0.94	0	**
4 kg BS vs testigo	0.15	0.00	**	-0.22	0.5	NS
5 kg BS vs testigo	0.04	0.08	NS	-0.55	0.1	NS
0.25 BF vs testigo	0.14	0.00	**	0.65	0	*
0.35 BF vs testigo	0.14	0.00	**	-0.26	0.4	NS
0.45 BF vs testigo	0.16	0.00	**	-0.57	0.1	NS
0.55 BF vs testigo	0.10	0.00	**	-0.96	0	**
0.65 BF vs testigo	0.00	0.70	NS	0	1	NS

Fuente: Autor.

En el cuadro 14 se encontró que con excepción de la aplicación de 5 kg de Boro al suelo y de la aplicación de la dosis de 0.65 kg de Boro foliar que fueron las dosis máximas aplicadas, la diferencia entre las medias para altura de tallos fueron significativas. Sin embargo, para la variable población de tallos solamente la dosis de 3 kg de B/ha aplicada al suelo y la dosis de 0.25 kg aplicada en forma foliar, se obtuvieron efectos significativos en forma positiva y que corresponden con los tratamientos que presentaron las mayores diferencias en rendimiento de caña por hectárea. El resto de los tratamientos muestran diferencias variables y en algunos casos diferencias negativas aunque no significativas. El comportamiento de la variable rendimiento de caña es definido por la altura y la población de tallos. Este comportamiento marca una tendencia clara de los efectos del Boro en la altura, como se mostrará más adelante con los análisis de dispersión y regresión.

Cuadro 15: Análisis de contrastes, diámetro contra el testigo.

Comparación	Diámetro		
	Diferencia	Pr > F	
1 kg BS vs testigo	0.02	0.71	NS
2 kg BS vs testigo	0.04	0.32	NS
3 kg BS vs testigo	-0.04	0.32	NS
4 kg BS vs testigo	0.06	0.16	NS
5 kg BS vs testigo	0.09	0.03	*
0.25 BF vs testigo	0.11	0.01	**
0.35 BF vs testigo	0.04	0.29	NS
0.45 BF vs testigo	0.01	0.90	NS
0.55 BF vs testigo	0.02	0.57	NS
0.65 BF vs testigo	0.02	0.71	NS

Fuente: Autor.

Para la variable diámetro de tallos según cuadro 15, con la aplicación de 5 kg de Boro al suelo y de la aplicación de la dosis de 0.25 kg de Boro foliar se superó positivamente al testigo y la diferencia entre las medias fue significativa. Sin embargo, es evidente que en algunos de los casos la diferencia fue positiva a favor de la aplicación de Boro y en uno la diferencia fue negativa (marcado con signo negativo) aunque no significativa. Este comportamiento variable no marca una tendencia clara de los efectos del Boro en el diámetro de tallos, como se mostrará más adelante.

Curvas de tendencia de la respuesta a Boro

En las Figuras 10, 11 y 12 se presenta la dispersión de los datos y la tendencia de respuesta promedio respectivamente para altura, población y diámetro, por separado para las aplicaciones al suelo.

Respuesta a las aplicaciones al suelo

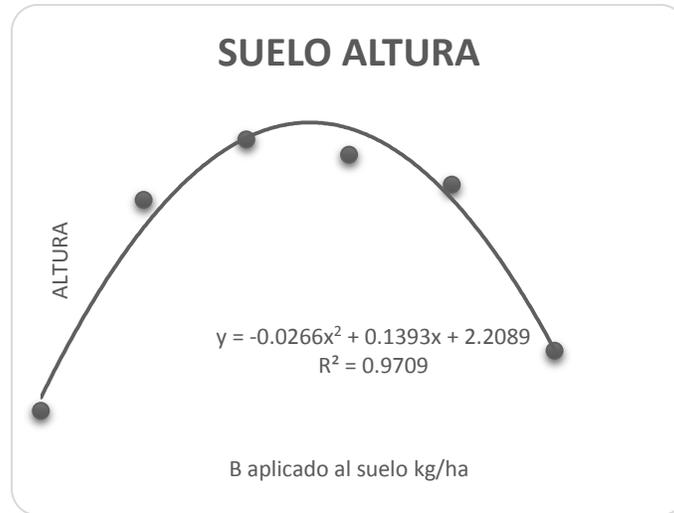


Figura 10: Dispersión y tendencia de respuesta al B aplicado al suelo para altura.

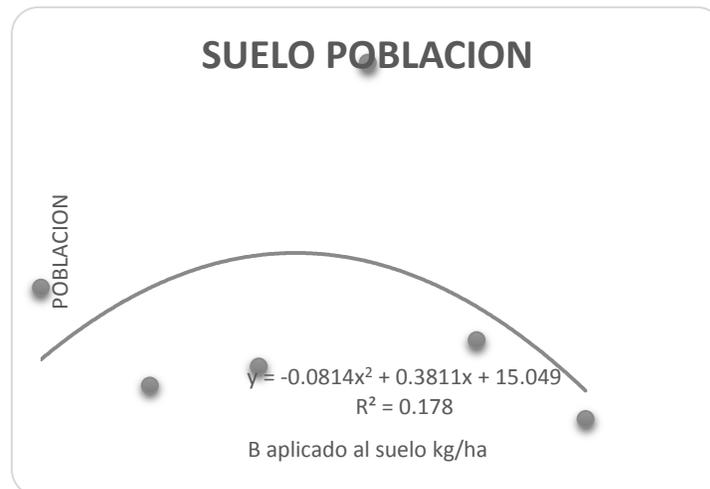


Figura 11: Dispersión y tendencia de respuesta la B aplicado a suelo para población.

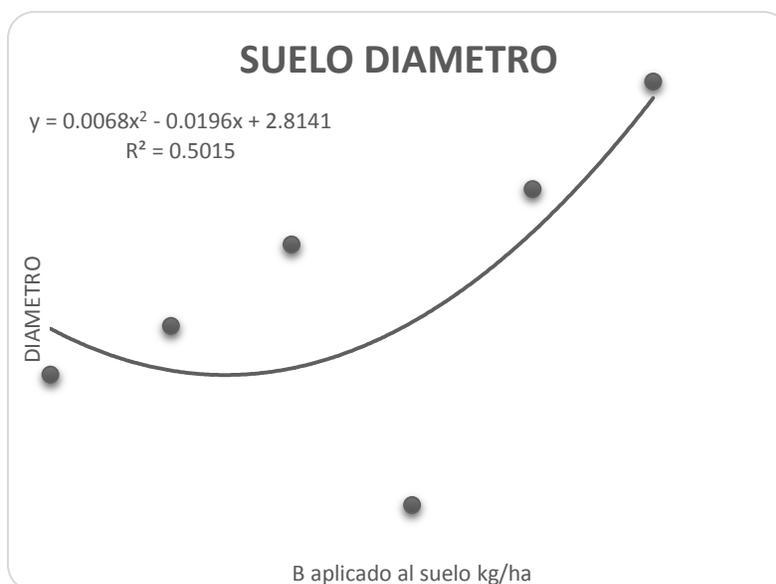


Figura 12: Dispersión y tendencia de respuesta al B aplicado al suelo para diámetro.

En las figuras anteriores, podemos observar que para la variable ALTURA (figura 10), afirmativamente existe una asociación entre los niveles de B y la altura del cultivo, apreciando en la distribución de los puntos una tendencia directa y positiva, en el análisis de regresión la recta indica una correlación estrecha entre los niveles de B y la altura de tallos, teniendo para cada predicho un aumento, cuando aumenta la cantidad de boro que se aplica con tendencia al aumento desde 1 kg/ha hasta los 2 kg/ha marcándose una tendencia a decaer a partir de los 3 kg/ha, 4 kg/ha siendo mayor la disminución a 5 kg/ha, explicando nuevamente que la variable responde a los niveles de boro.

Para las variables POBLACION (figura 11) y DIAMETRO (figura 12), su correlación estuvo por debajo del valor mínimo; esto podría estar atribuido a que en algunos casos la diferencia fue positiva a favor de la aplicación de Boro y en otros casos la diferencia fue negativa, pudiéndose notar la variabilidad en los datos en los cuadros de contrastes correspondientes (cuadro 14 y 15).

Curvas de tendencia de la respuesta a Boro

En las Figuras 13, 14 y 15 se presenta la dispersión de los datos y la tendencia de respuesta promedio respectivamente para altura, población y diámetro, por separado para las aplicaciones foliares.

Respuesta a las aplicaciones foliares

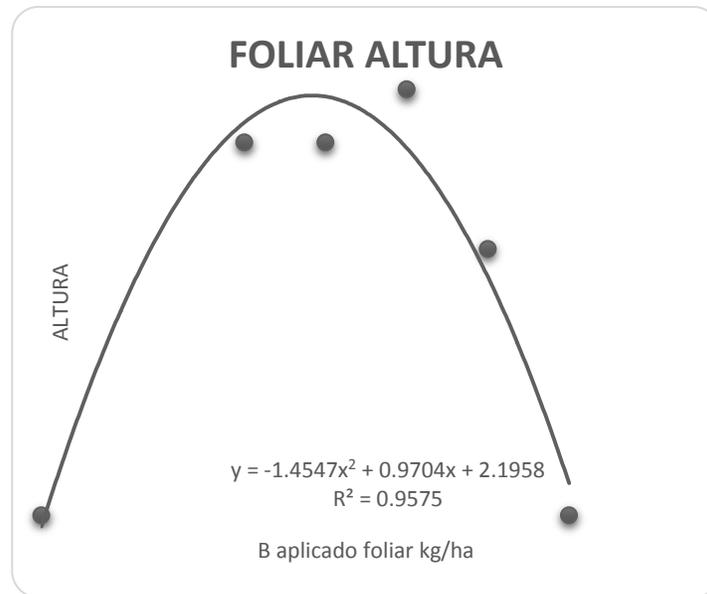


Figura 13: Dispersión y tendencia de respuesta al B aplicado foliar para altura.

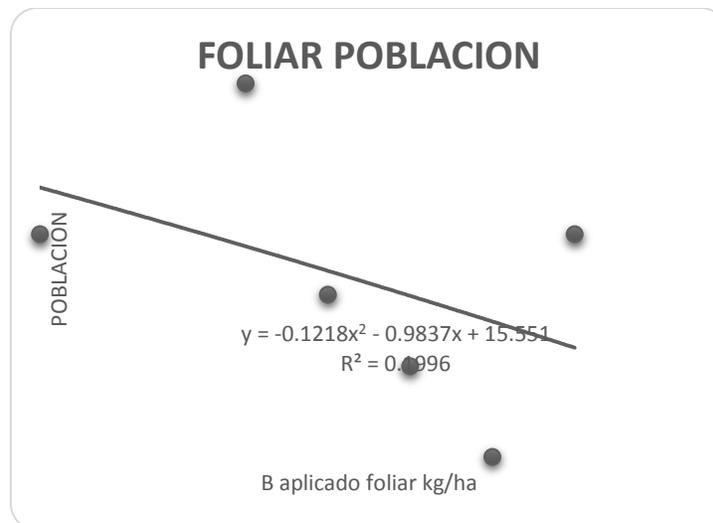


Figura 14: Dispersión y tendencia de respuesta al B aplicado foliar para población.

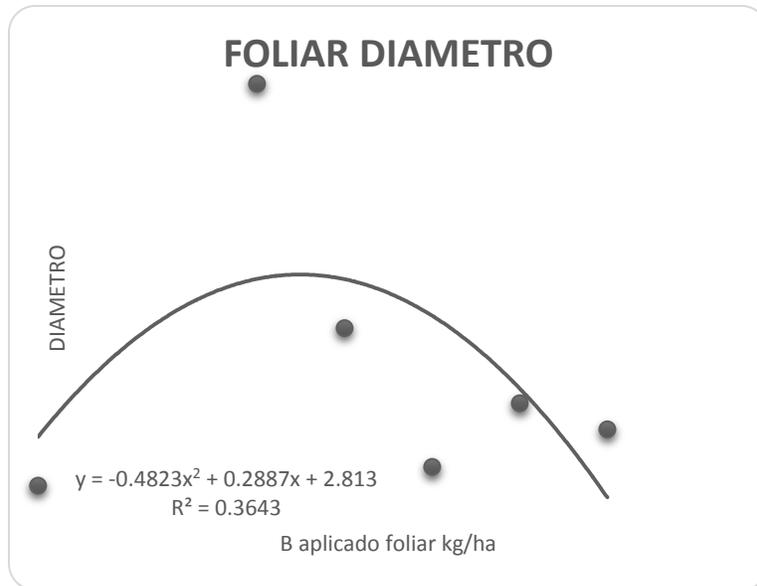


Figura 15: Dispersión y tendencia de respuesta al B aplicado foliar para diámetro.

En las figuras anteriores, podemos observar que para la variable ALTURA (figura 13), efectivamente existe una asociación entre los niveles de B y la altura, apreciando en la distribución de los puntos una tendencia directa y positiva, en el análisis de regresión la recta indica una correlación estrecha entre los niveles y la altura de tallos, teniendo para cada predicho un aumento, cuando aumenta la cantidad de boro que se aplica con tendencia al aumento desde 0.25 kg/ha hasta los 0.45 kg/ha marcándose una tendencia a decaer a partir de los 0.55 kg/ha siendo mayor la disminución a 0.65 kg/ha. Explicando claramente que la variable responde a los niveles de boro, aunque este efecto no fue claro en la variable rendimiento de caña.

Para las variables POBLACION (figura 14) y DIAMETRO (figura 15), su correlación estuvo por debajo del valor mínimo excepto para entrenudos; pero esto podría estar atribuido a que en algunos casos la diferencia fue positiva a favor de la aplicación de Boro y en otros casos la diferencia fue negativa, pudiéndose notar la variabilidad en los datos en los cuadros de contrastes correspondientes (cuadro 14 Y 15).

4.3. Análisis económico

Costos y beneficios de producción y utilidades del cultivo

La aplicación de boro en forma complementaria en la nutrición del cultivo, origina diferentes costos de producción, los cuales son básicamente dependientes de la productividad durante el año del ciclo de cultivo evaluado. Para el presente análisis se utilizaron los datos estadísticos de cada uno de los tratamientos, comparándolos con el testigo sin aplicación (media general de tratamientos) de las toneladas de azúcar por hectárea, con la incorporación de los tratamientos.

Cuadro 16: Costos de producción, para una hectárea de caña de azúcar

<ul style="list-style-type: none">• Descarne• Primer riego• Aplicación de herbicidas• Resiembra• Monitoreo de plagas• Fercultivo• Riego• Arranques manuales de maleza• Aplicación de insecticidas• Control de bejuco• aplicación de madurantes• Cosecha, Alce y Transporte CAT	
Costo de producción (US\$/ha)	1,993.10

Fuente: Oficina administración Caballo Blanco.

En el cuadro 16 se observan los costos en los que se incurre para la producción de azúcar en una hectárea.

Cuadro 17: Costos de aplicación para una hectárea de caña de azúcar.

Tipo de aplicación	Equipo	Área	Costo (US\$)
Suelo (tipo drench)	Bomba de mochila	1 hectárea	15.88
Aérea (foliar)	Helicóptero Jet Ranger	1 hectárea	20.57

Fuente: oficina Caballo Blanco.

En el cuadro 17 se observa el costo de las aplicaciones al suelo y foliar para una hectárea de caña de azúcar, este se refiere únicamente a costo de ejecución y equipo. En el cuadro 18 se aprecia a detalle el costo de cada tratamiento, incluyendo costos del producto.

Cuadro 18: Costos generales de tratamientos (aplicación suelo y foliar de B).

TRATAMIENTO	DOSIS kg/ha	COSTO TRATAMIENTO (US\$)
T1	1	27.31
T2	2	38.74
T3	3	50.17
T4	4	61.60
T5	5	73.03
T6	0.25	44.01
T7	0.35	45.15
T8	0.45	46.29
T9	0.55	47.43
T10	0.65	48.58
T11	Sin aplicación	--

Fuente: Autor

En el cuadro 18 se observa en detalle el costo de cada uno de los tratamientos con su respectiva dosis; en este cuadro se aprecia el costo total para los tratamientos como resultado de la suma del costo de aplicación más el costo del producto según la dosis aplicada tomando en cuenta que el costo de un kilogramo de boro asciende a US\$ 11.34. Se debe tomar en cuenta que los tratamientos foliares se hicieron en dos aplicaciones, lo cual indica que el producto se aplicó a los 90 ddc el 50% de la dosis y el otro 50% a los 150 ddc, por lo que el costo de la aplicación se duplicó únicamente en costos de ejecución (\$ 41.14 por las dos aplicaciones sin costo de producto).

Cuadro 19: Análisis de la relación beneficio/costo, para rendimiento de azúcar.

	COSTOS TRATAMIENTOS US\$			BENEFICIOS TRATAMIENTOS US\$			VALORES MARGINALES US\$		Relación beneficio costo
	Con boro	Sin boro	Costo marginal	Con boro	Sin boro	Beneficio marginal	Costos	Beneficios	
T1	2,020.51	1,993.20	27.31	2,641.80	2,567.00	74.80	27.31	74.80	2.74
T2	2,031.94	1,993.20	38.74	2,582.30	2,567.00	15.30	38.74	15.30	0.39
T3	2,043.37	1,993.20	50.17	2,867.90	2,567.00	300.90	50.17	300.90	6.00
T4	2,054.80	1,993.20	61.60	2,521.10	2,567.00	-45.90	61.60	-45.90	-0.75
T5	2,066.23	1,993.20	73.03	2,703.00	2,567.00	136.00	73.03	136.00	1.86
T6	2,037.21	1,993.20	44.01	2,808.40	2,567.00	241.40	44.01	241.40	5.49
T7	2,038.35	1,993.20	45.15	2,594.20	2,567.00	27.20	45.15	27.20	0.60
T8	2,039.49	1,993.20	46.29	2,886.60	2,567.00	319.60	46.29	319.60	6.90
T9	2,040.63	1,993.20	47.43	2,781.20	2,567.00	214.20	47.43	214.20	4.52
T10	2,041.78	1,993.20	48.58	2,672.40	2,567.00	105.40	48.58	105.40	2.17

Fuente: Autor.

- Costo de tratamientos (US\$/ha): ver anexos (cuadro 20)
- Beneficios de tratamientos (US\$/ha): ver anexos (cuadro 20)
- Costo marginal (US\$/ha) = Costo con boro US\$ - Costo sin boro US\$
- Beneficio marginal (US\$/ha) = Beneficio con boro US\$ - Beneficio sin boro US\$
- Costo marginal = Costo con boro – costo sin boro
- Beneficio marginal = Beneficio con boro – beneficio sin boro
- Relación beneficio/costo US\$ = Beneficio marginal US\$ / Costo marginal US\$

En los resultados de este análisis Beneficio/Costo, se ofrece una razón mayor en favor a la aplicación del T8 (0.45 Kg de B aplicado foliar). Este análisis indica la relación que existe entre los beneficios económicos, por cada unidad de dinero invertida, en otras palabras, el beneficio que se obtendrá por cada dólar invertido en la producción de caña de azúcar.

Con aplicación del T8, se obtendrán US\$ 6.90 por cada dólar invertido, esto en razón del testigo sin aplicación; y se obtiene en segundo plano con el T3 US\$ 6.00 por cada unidad invertida, una de las diferencias entre la aplicación del T8 sobre el T3 es aparte de los beneficios, su costo de aplicación debido a que este es menor.

El cuadro anterior incluye los beneficios de producir azúcar en áreas donde se aplicaron los tratamientos, con la finalidad de comparar los beneficios marginales que se obtienen con cada uno de los tratamientos.

5. CONCLUSIONES

5.1. Las variables evaluadas respondieron significativamente a las aplicaciones de Boro, pero a niveles altos los valores decrecieron, respondiendo a la teoría de rendimientos decrecientes.

5.2. Se determinó que el B tuvo efecto significativo en el aumento de la concentración de azúcar, en el rendimiento de azúcar (TAH) y en el rendimiento de caña, aunque en esta última variable el efecto no fue muy claro.

5.3. Se determinó que tanto las aplicaciones foliares como las aplicaciones al suelo de B fueron efectivas en incrementar la producción. Se determinó que el tratamiento 8 con 0.45 kg de B/ha en forma foliar fue el mejor tratamiento teniendo en promedio cerca de 2 toneladas de azúcar por hectárea más que el testigo sin aplicación. El segundo mejor tratamiento fue el tratamiento 3 que fue aplicado al suelo en dosis de 3 kg de B/ha. Ambos tratamientos alcanzaron beneficios similares pero a menor costo con el T8,

5.4. El efecto de la aplicación foliar de boro en el cultivo permitió analizar y establecer la dosis óptima económica de boro, con lo que se estableció en 0.40 kg de B aplicado foliar dividido en dos aplicaciones a los 90 y 150 días.

6. RECOMENDACIONES

6.1. Continuar las evaluaciones de la incorporación foliar de micro nutrientes, utilizando diferentes fuentes de boro y dosis de aplicación ya que se mostraron tendencias al aumento con las dosis intermedias en las variables.

6.2. Evaluar la incorporación de otros micro elementos a la fórmula foliar empleada en esta investigación, enfocadas al aumento de las variables evaluadas.

6.3. Buscar alternativas para la incorporación de las aplicaciones de micro elementos en el manejo convencional del cultivo en la zona occidental del Ingenio Magdalena.

6.4. Implementar la aplicación de la DOE buscando la optimización de los insumos y la aplicación, satisfaciendo las necesidades nutricionales del cultivo sin afectar a escala mayor las finanzas de la empresa.

6.5. Realizar esta investigación en plantía en distintas localidades de la zona cañera para determinar si la respuesta de los tratamientos evaluados obtienen las mismas tendencias.

7. BIBLIOGRAFÍA

1. Alarcón, A.L., 2001. El boro como nutriente esencial, Dpto. Producción Agraria. Área Edafología y Química Agrícola. ETSIA, Universidad Politécnica de Cartagena. 11 p.
2. Arning, I. 2001 Guía metodológica para investigadores agrícolas. Introducción práctica a la investigación participativa e investigación científica. RAAA. Lima, Perú. 152 p.
3. ASAZGUA (Asociación de Azucareros de Guatemala), 2015. Catálogo virtual sobre caña de azúcar, Economía. (EnRed). Fecha de consulta: 22 de abril del 2015. Disponible en: <http://www.azucar.com.gt/economia.html>
4. Cantoral, V.H. 2014. Incorporación de zinc y boro a fórmula de fertilización Foliar. Tesis Ing. Agr. URL. Guatemala. 73 p. fecha de consulta: 23 de abril del 2015.
5. CENGICAÑA (Centro Guatemalteco de Investigación de Caña de Azúcar), 2014. Series históricas de producción, exportación y consumo de Azúcar en Guatemala. Boletín estadístico Año 14. No. 1. Cengicana, Guatemala.
6. De Paz, R., 2009. Diseño y análisis de experimentos agrícolas 2ª. Ed. Quetzaltenango, Guatemala 99 p.
7. Kirkby, E. A. and V. Römheld. 2007. Micronutrients in plant physiology. Functions, uptake and mobility. Proceedings 543. The international fertilizer society, P. O. Box, York, YO32 5YS, United Kingdom.
8. Morales, J.; Quemé, J.L.; Melgar, M. 2009. InfoStat Manual de uso, ejemplos de los principales métodos estadísticos utilizados en la industria azucarera. CENGICAÑA. 45 p. fecha de consulta: 24 de abril del 2015. disponible en <http://www.cengicana.org/descargas/ManualInfoStat.pdf>
9. Murillo, R.G.; Piedra M., G.; León R.G. 2011.1. Absorción de nutrientes a través de la hoja. 2. nutrición foliar y defensa natural. Fecha de consulta: 22 de abril del 2015. disponible en: www.revistas.una.ac.cr/uniciencia

10. Pérez, O.; Hernández, R.; Ramírez, C.; Ampudia, L.; Tayún, J.; San Juan, L.; Duarte, R.; Azañón, V.; Martínez, C.; Merino, A.; Sacbajá, A. y Melgar, M. 2014. Respuesta exploratoria a las aplicaciones de B y Zn en suelos Derivados de ceniza volcánica de Guatemala. Avances. En: Presentación de Resultados de Investigación Zafra 2013/14. Cengicaña. Guatemala. P: 270-280
11. Quintero D., R. 2004. Efectos de la aplicación de elementos menores en caña de azúcar en suelos del valle del río Cauca. CENICAÑA. Colombia. 14 P. 24 de abril del 2015. disponible en: http://www.cenicana.org/pdf/no_clasificacion/5921.pdf
12. Sanchez J. 2007. Fertilidad del suelo y nutrición mineral de las plantas, conceptos básicos. 19 p. 26 de abril del 2015. disponible en: <http://www.agronegociosperu.org/downloads/.pdf>
13. SEPHU (Sociedad española de productos húmicos), 2011. Cultivo de caña de azúcar, corrección de suelos y abonos químicos húmicos, complementario a la fertilización química. Sociedad española de productos húmicos, S.A. 9 p.
14. Tayun, F., 2015. Diagnóstico agrícola de la finca "Alaska" del Ingenio Magdalena, parcelamiento Caballo Blanco, Retalhuleu. Administración Retalhuleu, Ingenio Magdalena 33 p.
15. World Fertilizer use Manual, 1992. IFA, París, 632p. Página Web <http://www.fertilizer.org>, también disponible en versión CD.
16. Yamada, T. 2000. Informaciones Agronómicas 90: 1-5. Boro: será que estamos aplicando a dosis suficiente para el adecuado desenvolvimiento de las plantas. 6 p. 22 de abril del 2015. disponible en <http://www.ipni.net/ppiweb/iaecu.nsf//boro.pdf>

8. ANEXOS



Fuente: Autor.

Figura 16: Aplicación de tratamientos al suelo, 45 ddc.



Fuente: Autor.

Figura 17: Aplicación de tratamientos foliares, 90 y 150 ddc.(simulador aéreo).



Fuente: Autor.

Figura 18: Muestreos de biometría al séptimo mes y muestreo precosecha.



Fuente: Autor.

Figura 19: Cosecha y pesaje de caña en campo.

Cuadro 20: Costos, utilidades y rentabilidad, para rendimiento de azúcar.

ACTIVIDADES	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11
Costo de producción (fabrica) (USD)	1,993.20	1,993.20	1,993.20	1,993.20	1,993.20	1,993.20	1,993.20	1,993.20	1,993.20	1,993.20	1,993.20
Costo del tratamiento	27.31	38.74	50.17	61.60	73.03	44.01	45.15	46.29	47.43	48.58	--
Costo total de producción (USD/ha)	2,020.51	2,031.94	2,043.37	2,054.80	2,066.23	2,037.21	2,038.35	2,039.49	2,040.63	2,041.78	1,993.20
Producción TAH	15.54	15.19	16.87	14.83	15.90	16.52	15.26	16.98	16.36	15.72	15.10
Costo de producción de una tonelada de azúcar (USD)	130.02	133.77	121.12	138.56	129.95	123.32	133.57	120.11	124.73	129.88	132.00
Valor comercial de una tonelada de azúcar USD	170.00	170.00	170.00	170.00	170.00	170.00	170.00	170.00	170.00	170.00	170.00
Utilidad neta por tonelada (USD)	39.98	36.23	48.88	31.44	40.05	46.68	36.43	49.89	45.27	40.12	38.00
Rentabilidad por tonelada de azúcar producida (%)	31%	27%	40%	23%	31%	38%	27%	42%	36%	31%	29%
Rentabilidad por tonelada de azúcar producida (%) derivada del T11	2%	-2%	12%	-6%	2%	9%	-2%	13%	8%	2%	0%

Fuente: Autor.

- Costo de producción (US\$/ha): (cuadro 17)
- Costo del tratamiento (US\$/ha): (cuadro 19)
- Costo total de producción (US\$/tn) = Costo de producción + Costo de tratamiento
- Producción TAH: (cuadro 7)
- Costo de producción de una tonelada de azúcar (US\$/tn) = Costo total de producción (USD/tn) / Producción TAH
- Valor comercial (US\$/tn) = U.S.D. 23.23
- Utilidad neta por tonelada (US\$) = Valor comercial (US\$/tn) - Costo de producción de una tonelada de azúcar (US\$/tn)
- Beneficio neto (US\$/tn) = Valor comercial (US\$/tn) – Costo de producción (US\$/tn)
- Rentabilidad por tonelada de azúcar producida (%) = Utilidad neta por tonelada (US\$) / Área de cultivo (ha) * • Costo de producción de una tonelada de azúcar (US\$/tn) * 100
- Rentabilidad por tonelada de azúcar producida (%) derivada del T11 = Rentabilidad por tonelada de azúcar producida (%) del tratamiento - Rentabilidad por tonelada de azúcar producida (%) del tratamiento 11

El cuadro anterior incluye los beneficios de producir caña de azúcar en áreas donde se evaluaron los tratamientos con adición de boro, con la finalidad de comparar posteriormente los beneficios marginales que se obtienen con cada uno de los tratamientos comparados con el testigo.

Cuadro 21: Egresos, ingresos y beneficios netos del cultivo de caña, para TAH.

ACTIVIDADES	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11
Costo total de producción (USD/ha)	2,020.51	2,031.94	2,043.37	2,054.80	2,066.23	2,037.21	2,038.35	2,039.49	2,040.63	2,041.78	1,993.20
Productividad (tn/ha)	15.54	15.19	16.87	14.83	15.90	16.52	15.26	16.98	16.36	15.72	15.10
Costo de producción (USD/tn)	130.02	133.77	121.12	138.56	129.95	123.32	133.57	120.11	124.73	129.88	132.00
Valor comercial del azúcar (USD/tn)	170.00	170.00	170.00	170.00	170.00	170.00	170.00	170.00	170.00	170.00	170.00
Beneficio neto (USD/tn)	39.98	36.23	48.88	31.44	40.05	46.68	36.43	49.89	45.27	40.12	38.00
INGRESOS, EGRESOS Y BENEFICIO EN 1 Ha											
Total Ingresos (USD)	2,641.80	2,582.30	2,867.90	2,521.10	2,703.00	2,808.40	2,594.20	2,886.60	2,781.20	2,672.40	2,567.00
Total egresos (USD)	2,020.51	2,031.94	2,043.37	2,054.80	2,066.23	2,037.21	2,038.35	2,039.49	2,040.63	2,041.78	1,993.20
Beneficio neto del tratamiento (USD)	621.29	550.36	824.53	466.30	636.77	771.19	555.85	847.11	740.57	630.62	573.80
Beneficio neto derivado del T11 (USD)	47.49	-23.44	250.73	-107.50	62.97	197.39	-17.95	273.31	166.77	56.82	0.00

Fuente: Autor.

- Costo de producción (US\$/ha): (cuadro 20)
- Productividad TAH: (cuadro 7)
- Costo de producción de una tonelada de azúcar (US\$/tn) = Costo total de producción (US\$/tn) / Producción TAH
- Valor comercial (US\$/tn) = US\$. 170.00
- Beneficio neto (US\$/tn) = Valor comercial (US\$/tn) – Costo de producción (US\$/tn)
- Total Ingresos US\$ = (Valor comercial (US\$/ha) * Área de cultivo (ha)) * Productividad (tn/ha)
- Total Egresos US\$ = Costo total producción (US\$/tn) * Área de cultivo (ha) * Productividad (tn/ha)
- Beneficio neto del tratamiento US\$ = Total Ingresos US\$ – Total Egresos US\$
- Beneficio neto derivado del T11 US\$ = Beneficio neto del tratamiento US\$ – Beneficio neto del tratamiento 11 US\$

En el cuadro 21 se calculan los egresos, ingresos y utilidades que se obtienen al producir caña de azúcar en una hectárea. La productividad del cultivo genera aportes positivos a las finanzas de la empresa, estos como resultado de la incorporación complementaria de boro a la fertilización convencional, ofreciendo una alternativa positiva para cada forma de aplicación de este elemento, siendo estos mayores al utilizar el tratamiento 8 y en menor grado incorporando el T3.

Cuadro 22: Calendario de actividades 2015 – 2016.

Mes/actividad	Planificación	Entrega proyecto	Trazado de ensayo	Aplicación Boro suelo	Muestreo de suelo	Aplicación foliar 90 ddc.	Aplicación foliar 150 ddc.	Biometría	Precosecha, Pol, Brix y pureza	Cosecha	Análisis de resultados	Redacción de informe final	Presentación de resultados.
Abril	27/04/15												
Mayo		12/05/15	14/05/15	16/05/15									
Junio					30/06/15	30/06/15							
Julio													
Agosto							31/08/15						
Septiembre													
Octubre								15/10/15					
Noviembre													
Diciembre													
Enero													
Febrero													
Marzo									05/03/16	11/03/16			
Abril									30/04/16				
Mayo											15/05/16		
Junio											30/06/16		
Julio												01 al 10/07/16	26/07/16

Cuadro 23: Datos de campo, formato utilizado en el paquete estadístico.

Forma	Dosis de B (Kg/ha)	Bloque	KATC	TAH	TCH	Altura Mts.	Población TML	Diametro Cms.	Entrenados
Suelo	1	1	102.66	15.92	155.05	2.35	14.95	2.79	13.71
Suelo	1	2	98.37	14.91	151.56	2.32	15.00	2.81	13.40
Suelo	1	3	104.10	15.97	153.38	2.33	14.90	2.79	14.40
Suelo	1	4	99.50	15.34	154.15	2.35	14.90	2.87	14.05
Suelo	2	1	100.42	14.85	147.88	2.34	14.78	2.83	13.45
Suelo	2	2	98.57	14.48	146.94	2.43	14.90	2.91	13.60
Suelo	2	3	107.63	15.62	145.15	2.37	15.30	2.81	13.60
Suelo	2	4	104.47	15.79	151.11	2.36	15.13	2.81	13.60
Suelo	3	1	109.68	17.11	155.99	2.38	16.58	2.80	13.80
Suelo	3	2	104.69	16.53	157.90	2.34	15.40	2.76	14.06
Suelo	3	3	106.65	17.05	159.90	2.39	17.20	2.75	14.80
Suelo	3	4	103.56	16.78	162.02	2.35	15.97	2.73	14.25
Suelo	4	1	103.75	15.14	145.89	2.36	15.03	2.85	14.05
Suelo	4	2	104.44	15.14	144.95	2.33	14.88	2.86	13.86
Suelo	4	3	99.87	14.92	149.42	2.39	15.00	2.88	14.80
Suelo	4	4	96.31	14.13	146.77	2.33	15.60	2.84	13.80
Suelo	5	1	102.74	16.44	159.97	2.25	14.50	2.79	13.25
Suelo	5	2	101.91	16.41	161.01	2.21	14.70	2.89	13.34
Suelo	5	3	97.44	15.16	155.56	2.25	15.10	2.89	13.40
Suelo	5	4	98.58	15.57	157.97	2.25	14.90	2.99	13.51
Foliar	0.25	1	103.87	16.85	162.25	2.34	15.90	2.84	14.05
Foliar	0.25	2	102.20	17.43	170.51	2.36	15.53	3.04	14.00
Foliar	0.25	3	99.71	16.07	161.21	2.32	16.50	2.85	13.81
Foliar	0.25	4	98.33	15.73	159.96	2.36	16.10	2.90	14.00
Foliar	0.35	1	105.02	15.23	145.05	2.35	15.80	2.73	14.60
Foliar	0.35	2	110.17	16.60	150.71	2.36	14.20	2.99	14.00
Foliar	0.35	3	98.80	14.56	147.40	2.33	14.89	2.76	14.20
Foliar	0.35	4	101.72	14.65	144.05	2.33	15.45	2.89	14.20
Foliar	0.45	1	109.53	17.19	156.92	2.36	14.40	2.77	13.53
Foliar	0.45	2	106.05	17.28	162.93	2.34	14.58	2.82	13.80
Foliar	0.45	3	107.62	16.81	156.16	2.35	14.93	2.75	13.80
Foliar	0.45	4	107.63	16.62	154.38	2.39	15.20	2.88	13.70
Foliar	0.55	1	105.46	16.61	157.47	2.27	14.30	2.85	13.60
Foliar	0.55	2	107.47	16.62	154.60	2.23	14.21	2.81	13.14
Foliar	0.55	3	104.24	15.91	152.66	2.33	14.55	2.85	13.55
Foliar	0.55	4	108.18	16.28	150.51	2.36	14.50	2.78	14.00
Foliar	0.65	1	103.21	15.61	151.26	2.20	15.85	2.81	13.40
Foliar	0.65	2	105.88	15.82	149.44	2.18	14.00	2.79	13.60
Foliar	0.65	3	106.23	15.76	148.38	2.21	16.50	2.81	13.50
Foliar	0.65	4	104.04	15.67	150.61	2.20	15.06	2.85	13.43
Testigo	0	1	99.69	15.25	152.93	2.19	15.20	2.80	13.75
Testigo	0	2	98.50	14.90	151.31	2.19	14.90	2.79	13.54
Testigo	0	3	99.26	15.52	156.35	2.23	15.30	2.78	14.20
Testigo	0	4	96.60	14.73	152.45	2.21	16.00	2.83	13.20

Cuadro 24: Prueba de medias Tukey al 5% para TCH.

Tratamientos	Medias						
T6	163.48	A					
T3	158.95		AB				
T5	158.63		AB				
T8	157.6		AB				
T9	153.81			BC			
T1	153.54				BCD		
T11	153.26				BCD		
T10	149.92					CD	
T2	147.77					CD	
T7	146.8						D
T4	146.76						D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Alfa= 0.05 Diferencia Media Significativa= 6.91 Gl= 30

Cuadro 25: Prueba de medias Tukey al 5% para TAH.

Tratamientos	Medias						
T8	16.98	A					
T3	16.86	A					
T6	15.52		AB				
T9	16.35			ABC			
T5	15.9				ABCD		
T10	15.72				ABCD		
T1	15.54					BCD	
T7	15.26					BCD	
T2	15.19						CD
T11	15.1						CD
T4	14.83						D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Alfa= 0.05 Diferencia Media Significativa= 1.26 Gl= 30

Cuadro 26: Prueba de medias Tukey al 5% para KATC.

Tratamientos	Medias					
T8	107.71	A				
T9	106.34		AB			
T3	106.15		AB			
T10	104.84			ABC		
T7	104.93			ABC		
T2	102.77			ABC		
T1	101.16			ABC		
T4	101.09			ABC		
T6	101.02			ABC		
T5	100.16				BC	
T11	98.51					C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Alfa= 0.05 Diferencia Media Significativa= 6.90 GI= 30

Cuadro 27: Prueba de medias Tukey al 5% para Altura.

Tratamientos	Medias					
T2	2.38	A				
T3	2.37		AB			
T8	2.36		AB			
T4	2.35		AB			
T6	2.35		AB			
T7	2.34		AB			
T1	2.34		AB			
T9	2.3		AB			
T5	2.24			BC	CD	
T11	2.2					D
T10	2.2					D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Alfa= 0.05 Diferencia Media Significativa= 0.068 GI= 30

Cuadro 28: Prueba de medias Tukey al 5% para Población.

Tratamientos	Medias				
T3	16.29	A			
T6	16		AB		
T10	15.35			ABC	
T11	15.35			ABC	
T4	15.12				BC
T7	15.08				BC
T2	15.02				BC
T1	14.94				BC
T5	15.61				C
T8	14.77				C
T9	14.39				C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Alfa= 0.05 Diferencia Media Significativa=1.08 GI= 30

Cuadro 29: Prueba de medias Tukey al 5% para Diámetro.

Tratamientos	Medias			
T6	2.91	A		
T5	2.9		AB	
T4	2.86		AB	
T7	2.84		AB	
T2	2.84		AB	
T9	2.82		AB	
T1	2.82		AB	
T10	2.82		AB	
T8	2.81		AB	
T11	2.8		AB	
T3	2.76			C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Alfa= 0.05 Diferencia Media Significativa= 0.13 GI= 30