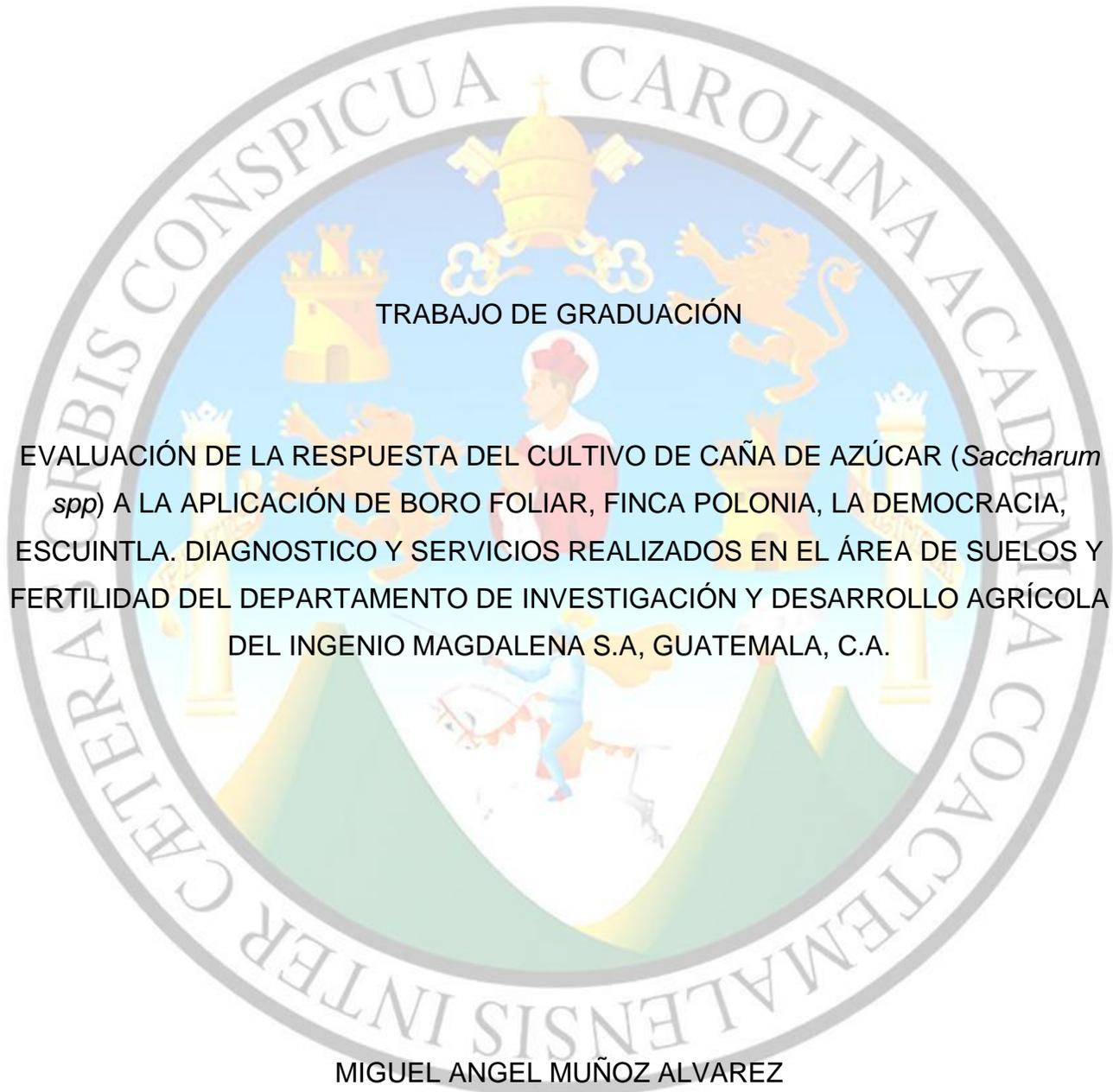


UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
ÁREA INTEGRADA



TRABAJO DE GRADUACIÓN

EVALUACIÓN DE LA RESPUESTA DEL CULTIVO DE CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum spp*) A LA APLICACIÓN DE BORO FOLIAR, FINCA POLONIA, LA DEMOCRACIA, ESCUINTLA. DIAGNOSTICO Y SERVICIOS REALIZADOS EN EL ÁREA DE SUELOS Y FERTILIDAD DEL DEPARTAMENTO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO AGRÍCOLA DEL INGENIO MAGDALENA S.A, GUATEMALA, C.A.

MIGUEL ANGEL MUÑOZ ALVAREZ

GUATEMALA, OCTUBRE 2015.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE AGRONOMÍA
ÁREA INTEGRADA

TRABAJO DE GRADUACIÓN

EVALUACIÓN DE LA RESPUESTA DEL CULTIVO DE CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum spp*) A LA APLICACIÓN DE BORO FOLIAR, FINCA POLONIA, LA DEMOCRACIA, ESCUINTLA. DIAGNOSTICO Y SERVICIOS REALIZADOS EN EL ÁREA DE SUELOS Y FERTILIDAD DEL DEPARTAMENTO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO AGRÍCOLA DEL INGENIO MAGDALENA S.A, GUATEMALA, C.A.

PRESENTADO A LA HONORABLE JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

POR
MIGUEL ANGEL MUÑOZ ALVAREZ
EN
EL ACTO DE INVESTIDURA COMO
INGENIERO AGRÓNOMO
EN
SISTEMAS DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA
EN
EL GRADO ACADÉMICO DE
LICENCIADO

GUATEMALA, OCTUBRE 2015.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA

RECTOR MAGNÍFICO
DR. CARLOS GUILLERMO ALVARADO CEREZO

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA

Decano en Funciones:	Dr. Tomas Antonio Padilla Cámara
Vocal Primero	Dr. Tomas Antonio Padilla Cámara
Vocal Segundo	Ing. Agr. César Linneo García Contreras
Vocal Tercero	Ing. Agr. Erberto Raúl Alfaro Ortiz
Vocal Cuarto	P. Agr. Josué Benjamín Boche López
Vocal Quinto	MEH. Ruth Raquel Curruchich Cúmez
Secretario Académico	Ing. Agr. Juan Alberto Herrera Ardón

Guatemala, octubre 2015

Guatemala, octubre 2015

Honorable Junta Directiva
Honorable Tribunal Examinador
Facultad de Agronomía
Universidad de San Carlos de Guatemala

Honorables miembros:

De conformidad con las normas establecidas por la ley Orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a vuestra consideración, el trabajo de graduación:

EVALUACIÓN DE LA RESPUESTA DEL CULTIVO DE CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum spp*) A LA APLICACIÓN DE BORO FOLIAR, FINCA POLONIA, LA DEMOCRACIA, ESCUINTLA. DIAGNOSTICO Y SERVICIOS REALIZADOS EN EL ÁREA DE SUELOS Y FERTILIDAD DEL DEPARTAMENTO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO AGRÍCOLA DEL INGENIO MAGDALENA S.A, GUATEMALA, C.A.

.

Como requisito previo a optar al título de ingeniero Agrónomo en Sistemas de Producción Agrícola, en el grado académico de licenciado.

Esperando que el mismo cumpla con los requisitos necesarios para su aprobación me es grato suscribirme,

Atentamente

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

MIGUEL ANGEL MUÑOZ ALVAREZ

ACTO QUE DEDICO

A:

Jesús

Porque en tu gran amor nos enseñas a ser más que vencedores, gracias por hacernos aceptos delante del Padre.

Mis padres:

Blanca Alvarez y Maximiliano Muñoz, este triunfo es de ustedes y para ustedes.

Mis hermanos(as):

Las reinas de mi vida: Lesbia, Lorena, Angélica y Claudia. A mis hermanos: Mynor, Maximiliano y Belmin. Simplemente gracias por su inmenso amor y por ser piezas importantes del motor de mi vida.

Mis sobrinos(as):

Las princesas de mi corazón: Venecia, Pamela, Nicol, Andrea y Panfila. Los príncipes de mi vida: Smith, Johams, Carlitos, Sebastian (+), Sebastian. Ustedes son de aquello que Él Señor ha traído a mi vida para llenarla de mucha alegría.

Mis Abuelos (as):

David Pocasangre (+), Porfidio Alvarez (+) y Victoria Torres (+), gracias por el amor que como abuelos supieron darme.

Mi Novia

Christa Leal, gracias a Dios por tu vida en mi vida, te amo.

Familia Paz Moreno: Gracias por el apoyo incondicional durante mi EPS, Gracias Carol.

Mis Amigos(as):

Gracias por su amistad y compañía a lo largo de mi vida, deseo ser de bendición para sus vidas.

TESIS QUE DEDICO

A:

MI DIOS (Padre de amor)

MI FAMILIA (Por ustedes estoy acá)

A MI AMADA FACULTAD DE AGRONOMÍA

AGRADECIMIENTO

A:

Los profesores de la Facultad de Agronomía por su paciencia y por desarrollar ese don tan especial de enseñar (Ing. Manuel Martínez, Ing. Juan Herrera, Ing. Alejandro Gil, Dr. Ivan Dimitri, Dr. Anibal Sacbaja, Ing. José Luis Alvarado, Ing. Willy Quintana e Ing. Mario Cabrera)

Ingenio Magdalena por darme la oportunidad de realizar mi ejercicio profesional supervisado y darme la oportunidad de adquirir experiencia y sabiduría (Personal administrativo, personal de campo e investigadores: Ing. Edgar Solares, Ing. José Túchan, Ing. Joaquín Tayún e Ing. Wenner Cruz)

Subárea de Ciencias Biológicas, por darme la oportunidad de incursionar en el ámbito biológico, por darme la oportunidad de compartir los conocimientos que adquirí durante mi formación.

Familia Paz Moreno por su apoyo durante mi Ejercicio Profesional supervisado, doña Carolita, Dios la bendiga.

ÍNDICE GENERAL

CONTENIDO	PÁGINA
1. CAPÍTULO I DIAGNÓSTICO DE LAS LABORES Y ACTIVIDADES QUE REALIZA EL ÁREA DE SUELOS Y FERTILIDAD DEL DEPARTAMENTO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO AGRÍCOLA DEL INGENIO MAGDALENA, LA DEMOCRACIA, ESCUINTLA, GUATEMALA, C.A.....	1
1.1 INTRODUCCIÓN	2
1.2 OBJETIVOS	3
1.2.1 General.....	3
1.2.2 Específicos.....	3
1.3 METODOLOGÍA.....	4
1.3.1 Fase de campo	4
1.3.2 Fase de gabinete	4
1.4 RESULTADOS	5
1.4.1 Historia.....	5
1.4.2 Ubicación	5
1.4.1 Datos obtenidos	5
1.4.4 Jerarquización de problemas	6
1.4.5 Problemática priorizada	7
1.5 CONCLUSIONES.....	9
1.6 BIBLIOGRAFÍA.....	10
2. CAPÍTULO II EVALUACIÓN DE LA RESPUESTA DEL CULTIVO DE CAÑA DE AZÚCAR (<i>Saccharum spp</i>) A LA APLICACIÓN DE BORO FOLIAR, FINCA POLONIA, LA DEMOCRACIA, ESCUINTLA, GUATEMALA, C.A.....	11
2.1. PRESENTACIÓN	12
2.2. MARCO TEÓRICO.....	14
2.2.1. Marco conceptual.....	14

2.2.1.1. Origen del cultivo de caña de azúcar (<i>Saccharum officinarum</i>).....	14
2.2.1.2. Variedad CG 98-10.....	15
2.2.1.3. Características Agronómicas de CG98-10 para su manejo.....	15
2.2.1.4. Morfología de la caña de azúcar.....	16
2.2.1.5. La raíz.....	16
2.2.1.6. El tallo.....	16
2.2.2. Importancia económica.....	17
2.2.2.1. Cogeneración de energía eléctrica.....	18
2.2.2.3. Área cultivada de caña de azúcar en el País.....	18
2.2.3. Nutrición Vegetal.....	19
2.2.3.1. Boro.....	20
2.2.3.2. Síntomas de deficiencias de boro generalizando cultivos.....	20
2.2.3.3. El boro en la pared celular.....	21
2.2.3.4. pH del suelo y absorción de nutrientes.....	22
2.2.3.5. Fertilización foliar.....	22
2.2.3.6. Wetagro.....	23
2.3. Marco referencial.....	24
2.3.1. Colindancias.....	24
2.4. HIPÓTESIS.....	25
2.5. OBJETIVOS.....	25
2.5.1. General.....	25
2.5.2. Específicos.....	25
2.6. METODOLOGÍA.....	26
2.6.1. Tratamientos evaluados.....	26
2.6.2. Diseño Experimental.....	27
2.6.3. Unidad experimental.....	27
2.6.4. Aplicación de los tratamientos.....	28
2.6.5. Manejo agronómico del experimento.....	28

2.6.5.1. Fertilización base:.....	28
2.6.5.2. Control de malezas.....	29
2.6.5.2.1. Control químico.....	29
2.6.5.2.2. Control manual.....	29
2.6.5.2.3. Control mecanizado.....	29
2.6.5.3. Corte.....	29
2.6.6. VARIABLES DE RESPUESTA.....	30
2.6.6.1. Población.....	30
2.6.6.2. Altura de la planta.....	30
2.6.6.3. Clorofila.....	30
2.6.6.4. Toneladas de caña por hectarea.....	30
2.6.6.5. Toneladas de azúcar por hectárea.....	31
2.6.6.6. Análisis de la información.....	31
2.7. RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	32
2.7.1. Análisis de suelo.....	32
2.7.2. ANÁLISIS FOLIAR.....	33
2.7.3. Población en tallos/metro lineal.....	34
2.7.4. Altura de tallos.....	35
2.7.5. Número de entrenudos.....	36
2.7.6. Unidades de Clorofila en la hoja.....	37
2.7.7. Toneladas de caña y toneladas de azúcar por hectárea (TCH, TAH).....	38
2.8. CONCLUSIONES.....	40
2.9. RECOMENDACIONES.....	40
2.10. BIBLIOGRAFÍAS.....	41
2.11. APENDICES.....	44
2.12. RECURSOS.....	46
2.12.1. Humano.....	46
2.12.2. Material.....	47

3. CAPITULO III SERVICIOS PRESTADOS AL ÁREA DE SUELOS Y FERTILIDAD DEL DEPARTAMENTO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO AGRÍCOLA DEL INGENIO MAGDALENA S.A.	50
3.1. PRESENTACIÓN	50
3.2. ÁREA DE INFLUENCIA	51
3.2.1. Finca San Patricio.....	51
3.2.2. Colindancias	51
3.2.3. Finca Botón Blanco.....	52
3.3. OBJETIVO GENERAL.....	53
3.4. SERVICIO 1: EVALUACIÓN DE LA RESPUESTA DEL SISTEMA RADICULAR DEL CULTIVO DE CAÑA DE AZÚCAR A LA APLICACIÓN DE MICRONUTRIENTES, ALGAS MARINAS Y YESO, INGENIO MAGDALENA, LA DEMOCRACIA, ESCUINTLA, GUATEMALA, C.A.	54
3.4.1. PRESENTACIÓN.....	54
3.4.2. OBJETIVO GENERAL	54
3.4.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	54
3.4.4. METODOLOGÍA	55
3.4.4.1. Armado de los rizotrones:.....	55
3.4.4.1.1. Preparación de materiales	55
3.4.4.2. Siembra	55
3.4.4.3. Fertilización.....	56
3.4.5. Variables de respuesta	57
3.4.5.1. Profundidad de raíz	57
3.4.5.2. Altura	57
3.4.5.3. Peso de raíces.....	57
3.4.6. RESULTADOS.....	58
3.4.6.1. Primer muestreo (12 días después de la siembra)	58
3.4.6.2. Segundo muestreo (21 días después de la siembra)	59

3.4.6.3. Tercer muestreo (34 días después de la siembra)	60
3.4.6.4. Cuarto muestreo (42 días después de la siembra)	60
3.4.6.5. Quinto muestreo (65 días después de la siembra)	61
3.4.6.6. Muestreo final	62
3.4.6.7. Comparaciones entre tratamientos aplicados.....	64
3.4.6.8. Rizotrones con peatmoss de 1 metro de altura	65
3.4.6.9. Comparaciones de los tratamiento aplicados en suelo virgen	65
3.4.6.10. Comparaciones de los tratamientos aplicados en suelo laborado	67
3.4.6.11. Condiciones del suelo virgen	71
3.4.6.12. Condiciones del suelo laborado	71
3.4.6.13. Resultado de análisis químico del laboratorio de peatmoss	72
3.5. CONCLUSIONES.....	75
3.6. RECOMENDACIONES	75
3.7. MATERIALES Y RECURSOS	76
3.8. ANEXOS.....	76
4. SERVICIO II: EVALUACIÓN DE LA RESPUESTA DEL CULTIVO DE CAÑA DE AZÚCAR (<i>Saccharum spp</i>) A LA APLICACIÓN DE FERTILIZANTES INORGÁNICOS Y ORGÁNICOS.....	78
4.1. PRESENTACIÓN	78
4.2. OBJETIVO GENERAL.....	79
4.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	79
4.4. METODOLOGÍA.....	80
4.4.1. Tratamientos	80
4.4.1.1. APLICACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS.....	80
4.4.2. Unidad experimental	81
4.4.3. Diseño experimental	81
4.4.4. Componentes del rendimiento	82
4.4.4.1. Población.....	82

4.4.4.2. Altura	82
4.4.4.3. Toneladas de caña por hectárea	83
4.4.4.4. Análisis foliar.....	83
4.4.4.5. Manejo agronómico	83
4.4.5. Análisis de la información	83
4.5. RESULTADOS	84
4.5.1. Variable altura.....	84
4.5.2. ANÁLISIS ESTADÍSTICO	84
4.5.2.1. Altura	84
4.5.2.2. Número de entrenudos	86
4.5.2.3. Contenido de nutrientes en las hojas.....	88
4.5.2.4. Toneladas de caña por hectárea	89
4.6. CONCLUSIONES.....	91
1.7 RECOMENDACIONES	91
1.8 CONSTANCIAS.....	92

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA	PÁGINA
Figura 1: Morfología de la variedad CG98-10.....	16
Figura 2: Área cultivada con caña de azúcar en Guatemala (ASAZGUA, 2014).....	19
Figura 3: Curva de absorción de cobre, manganeso, zinc y boro (Durán A. Honduras 2008)	21
Figura 4: Ubicación geográfica del área de realización de la investigación.....	24
Figura 5: Distribución de los tratamientos en campo (fuente: propia).....	26
Figura 6: Unidad experimental.....	28
Figura 7: Comportamiento de tallos por metro lineal	34
Figura 8: Población de caña de azúcar en evaluación de dosis de boro aplicado vía foliar.....	35
Figura 9: Comportamiento de altura en tallos.....	36
Figura 10: Comportamiento de la variable número de entrenudos.....	37
Figura 11: Comportamiento de clorofila.....	38
Figura 12: Toneladas de caña y azúcar por hectárea.....	39
Figura 13: Elaboración de calles divisorias dentro del área experimental	44
Figura 14: aplicación de la mezcla física N-P-K-S.....	44
Figura 15: Zanjeado a 10 cm del surco para la aplicación de la fertilización con N-P-K-S.	45
Figura 16: Realización del muestreo foliar previo a la aplicación	45
Figura 17: Porcentaje de rangos de pH en suelos en fincas de IMSA.....	46
Figura 18: Diagrama de disponibilidad de nutrientes según pH	47
Figura 19: Ubicación geográfica de la zona cañera de la costa sur de (Leal, 1998) Guatemala (CENGICAÑA).....	48
Figura 20: Ubicación geográfica del área de trabajo de la evaluación del crecimiento y desarrollo radicular en el cultivo de caña de azúcar.	51
Figura 21: Ubicación geográfica de la evaluación de Micronutrientes y compost en finca botón blanco.	52
Figura 22: Profundidad de raíces a los doce días después de la siembra.....	59

Figura 23: Profundidad de raíces a los 21 días después de la siembra	59
Figura 24: Profundidad de raíces a los 35 días después de la siembra	60
Figura 25: Profundidad de raíces a los 42 días después de la siembra	61
Figura 26: Profundidad de raíces a los 65 días después de la siembra	61
Figura 27: Longitud de raíces	63
Figura 28: Altura del follaje	63
Figura 29: Peso de tallo en fresco (gr).....	63
Figura 30: Peso de follaje en fresco (gr).....	64
Figura 31: Muestra de raíces perteneciente a los tratamientos en rizotrones con peatmoos de 1.5 metros de largo	64
Figura 32: Muestra de raíces perteneciente a los tratamientos en rizotrones con peatmoss de 1 metro de largo	65
Figura 33: Comparación de longitud de raíces entre tratamientos aplicados a suelo virgen	66
Figura 34: Comparación de peso en fresco de raíces entre los tratamientos aplicados a suelo virgen	66
Figura 35: Comparación de tratamientos aplicados a suelo virgen	67
Figura 36: Comparación de longitud de raíces entre los tratamientos aplicados a suelo laborado.....	67
Figura 37: Comparación de peso en fresco de raíces entre los tratamientos aplicados a suelo laborado	68
Figura 38: Comparación de los tratamientos aplicados en suelo laborado.....	69
Figura 39: Peso en seco de raíz, tallo y follaje de la evaluación.	70
Figura 40: Tubos pvc para la elaboración de los rizotrones	76
Figura 41: Nivelado de suelo dentro de los rizotrones para colocación del acrílico cristal .	77
Figura 42: Colocación del acrílico cristal con marco de madera.....	77
Figura 43: El croquis muestra la disposición de las unidades experimentales del ensayo en campo	81
Figura 44: Gráfico de altura de tallos.....	84
Figura 45: Análisis de varianza de la variable altura.....	85
Figura 46: Análisis de varianza.....	85

Figura 47: Gráfico de número de entrenudos	86
Figura 48: Análisis de varianza de la variable número de entrenudos.....	87
Figura 49: Grafico de análisis de varianza de la variable número de entrenudos.	87
Figura 50: Toneladas de caña por hectárea	90
Figura 51: Peso de la mezcla física a aplicar	92
Figura 52: Realización del rayado a 10 cm del pie del surco para la aplicación del fertilizante	92
Figura 53: Preparación de solución de cobre y zinc para la aplicación	93

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO	PÁGINA
Cuadro 1: problemas detectados en suelos productores de caña de azúcar	6
Cuadro 2: Matriz de priorización de problemas, área de suelos y fertilidad.....	8
Cuadro 3: Clave para la jerarquización de problemas	8
Cuadro 4: Nivel de priorización de problemas y su frecuencia	9
Cuadro 5: Principales componentes del tallo de la caña de azúcar	17
Cuadro 6: Descripción de los tratamientos evaluados.....	26
Cuadro 7: Concentración de nutrientes en el suelo	32
Cuadro 8: Rangos adecuados de nutrientes en el suelo	32
Cuadro 9: Análisis foliar previo a la aplicación de los tratamientos.	33
Cuadro 10: Resultados de análisis foliar 60 días después de la aplicación.....	33
Cuadro 11: Población en tallos/metro lineal de cada uno de los tratamientos evaluados. .	35
Cuadro 12: Resumen de análisis de varianza de altura de tallos	36
Cuadro 13: Resumen del análisis de varianza de número de entrenudos.....	37
Cuadro 14: Resumen de análisis de varianza de clorofila	38
Cuadro 15: Resumen del análisis de varianza de TCH	39
Cuadro 16: Resumen del análisis de varianza de TAH	39
Cuadro 17: Porcentaje de rangos de pH en el suelo.	46

Cuadro 18: Descripción de las dosis aplicadas	56
Cuadro 19: tratamientos evaluados	56
Cuadro 20: Datos correspondientes a la cosecha, 101 días después de la siembra	62
Cuadro 21: Pesos en seco de los tratamientos	69
Cuadro 22: Resultado de suelo virgen y laborado utilizados en la evaluación, (fosforo analizado con carolina del norte, *trazas.)	71
Cuadro 23: Análisis totales	72
Cuadro 24: Análisis de peatmoss extraídos con una solución acida	72
Cuadro 25: Resultados químicos de laboratorio, incluyendo raíz, tallo y hojas	73
Cuadro 26: Análisis químico de tejido foliar de los tratamientos evaluados en suelo virgen y suelo laborado	74
Cuadro 27: Tratamientos aplicados	80
Cuadro 28: Datos de análisis foliares realizado a los 5 meses de edad del cultivo	89
Cuadro 29: Análisis de varianza de la variable toneladas de caña por hectárea.....	90

EVALUACIÓN DE LA RESPUESTA DEL CULTIVO DE CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum spp*) A LA APLICACIÓN DE BORO FOLIAR, FINCA POLONIA, LA DEMOCRACIA, ESCUINTLA, GUATEMALA, C.A.

RESUMEN

El cultivo de Caña de azúcar (*Saccharum spp*), es un cultivo importante en el país. Guatemala se ha caracterizado por ser un importante productor de azúcar a nivel mundial, la zona de mayor producción de caña de azúcar a nivel nacional se encuentra en la costa sur del país y abarca los departamentos de Escuintla, Santa Rosa, Suchitepéquez, Retalhuleu y Cobán. La producción y rendimiento de dicho cultivo está determinada por varios factores, uno de los más importantes es la fertilización, la cual tiene como finalidad de suministrarle al cultivo los nutrientes necesarios para poder crecer y desarrollarse adecuadamente. En el pasado la fertilización se realizaba basándose únicamente en el nutriente nitrógeno (N), al pasar del tiempo se ha ido abarcando al fosforo (P) y potasio (K), esto como resultado de la respuesta positiva que ha existido ante su aplicación.

El diagnóstico realizado en el área de suelos y fertilidad del departamento agrícola del ingenio Magdalena apunta a que es necesario fortalecer y respaldar la utilización de los distintos nutrimentos, ya que dependiendo de las condiciones de suelo y el cultivo puede variar las respuestas a las aplicaciones de nutrientes. Algunas de las problemáticas más importantes de los suelos cañeros están relacionadas con la textura, pH y su fertilidad en sí, en macronutrientes, se cuenta con una amplia gama de información en cuando su manejo y dosificación, pero no así de los micronutrientes. Los micronutrientes al igual que los macronutrientes son de suma importancia para realizar funciones específicas dentro del cultivo, si no se cuenta con ellos en los niveles adecuados no se puede obtener el máximo crecimiento y desarrollo del cultivo. Uno de los micronutrientes que está tomando auge en la actualidad ese el Boro, ya que forma parte importante en el metabolismo de la planta (Wittstein y Apoiger, 1857). Su papel es vital en el transporte de azúcares, síntesis de sacarosa, metabolismo de ácidos nucleicos y fotosíntesis.

En el municipio de La Democracia, Escuintla, se realizó el estudio para evaluar diferentes dosis de boro (B), aplicado vía foliar en el cultivo de caña de azúcar. Es importante mencionar que factores de pH arriba de 7.5 y bajas concentraciones del mismo son condicionantes para su absorción.

La investigación se realizó con base a un diseño experimental de bloques completos al azar con seis tratamientos y un testigo relativo. Los resultados obtenidos se expresan en las variables altura, número de entrenudos, clorofila, toneladas de caña por hectárea y toneladas de azúcar por hectárea.

La información recabada de muestreos y cosecha final se digitalizó en una base de datos de Microsoft Excel para la elaboración de gráficos comparativos. Posteriormente se realizó un análisis de varianza (ANDEVA) y una prueba múltiple de medias, de acuerdo al criterio de Tukey 5%, utilizando el Software Infostat.

Sumado a la investigación realizada durante el Ejercicio Profesional Supervisado en el ingenio Magdalena S.A., se realizaron servicios enfocados al manejo adecuado de micronutrientes como Zinc, Manganeso y Boro, en distintos suelos productores de caña de azúcar.

Los resultados obtenidos en la investigación y los servicios realizados, manifiestan información que es de utilidad para la aplicación de micronutrientes en el cultivo de caña de azúcar, así como para la generación de nuevos puntos de investigación.



1.1 INTRODUCCIÓN

Dentro de la estructura organizacional del ingenio Magdalena se encuentra la división de Investigación y Desarrollo. Esta comprende una serie de áreas enfocadas al desarrollo de información que ayude a mejorar la producción del cultivo de caña de azúcar (*Saccharum spp*). El diagnóstico se realizó en el área de suelos y fertilidad, cuya infraestructura se encuentra ubicada en las oficinas 400 de la finca Bugarvilia, en el municipio de La Democracia, Escuintla, en el kilómetro 99.5 carretera a la Gomera, se desvía a 7 Km de terracería hacia las instalaciones del ingenio Magdalena. La finca se encuentra ubicada a 107 km aproximadamente de la ciudad de Guatemala. Colinda al Norte con finca Santa Marte y Los Amigos, al Sur con finca Santa Ricarda, al Este con Río Achiguate, y al Oeste con finca San Patricio.

El objetivo principal del diagnóstico fue describir las labores que realiza el área de suelos y fertilidad en las distintas fincas del ingenio Magdalena, así como la importancia de las labores en los procesos de desarrollo y producción del cultivo de caña de azúcar, identificando cuales son las principales problemáticas y limitantes que los suelos presentan para el crecimiento y desarrollo del cultivo de caña de azúcar.

El inicio del diagnóstico se dio con la presentación del personal administrativo y técnico, además se realizaron visitas de campo a fincas en las cuales se realizan labores e investigaciones por parte del área de suelos y fertilidad, con el propósito de conocer y describir las labores del área de fertilidad y suelos, así como las principales problemáticas y limitantes edafológicas.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 General

- Describir las principales labores que realiza el área de suelos y fertilidad del departamento de investigación y desarrollo agrícola del ingenio Magdalena, para generar soluciones y aportes a las problemáticas existentes en cuanto al componente suelo.

1.2.2 Específicos

- Describir las labores y actividades que se realizan dentro del área de suelos y fertilidad, del departamento agrícola.
- Identificar los principales problemas existentes en fincas del área central del ingenio Magdalena.

1.3 METODOLOGÍA

Para realizar el diagnóstico, se recopiló información de fuentes primarias y secundarias realizando los siguientes pasos:

1.3.1 Fase de campo

Consistió en obtener información primaria por medio de entrevistas al personal laboral de campo y observación visual de las problemáticas más comunes en cuanto a suelos y su fertilidad, las variables estudiadas fueron: heterogeneidad del suelo, pH del suelo y fertilidad del suelo. Identificando las principales limitantes en campo. Sabiendo que una buena recomendación puede brindar soluciones precisas a las problemáticas y por ende mejorar las condiciones nutricionales del cultivo. Es importante mencionar que la fase de campo se complementa con datos e información de laboratorio que enriquecen en si su aplicación en campo.

1.3.2 Fase de gabinete

Esta fase consistió en recopilar información de algunas bases de datos del departamento de investigación, con respecto a análisis de suelos, esto con la finalidad de poder identificar las problemáticas que presentan las variables: pH del suelo y contenido nutricional de los mismos.

Y por último se procedió a la realización del diagnóstico, esto con el ordenamiento y sistematización de la información recaba en campo y en laboratorio, en las variables de campo están incluidas la heterogeneidad, suelos con poca capacidad de infiltración y poca retención de agua. En las variables de laboratorio se tomaron el pH y el contenido nutricional del suelo, evaluando estos mediante una matriz de priorización.

1.4 RESULTADOS

1.4.1 Historia

A lo largo de la historia los procesos de producción a nivel de campo y procesamiento del cultivo de caña de azúcar (*Saccharum spp*) han ido evolucionando de tal manera que se pueda obtener los mejores beneficios del cultivo. Un ejemplo claro es observar como la fertilización ha ido siendo más minuciosa, ya que tiempos atrás la fertilización del cultivo realizaba únicamente con Nitrógeno (N), pero posteriormente se agregaron otros dos macronutrientes importantes que son: El Fosforo (P) y el Potasio (K). Aunque esa recomendación no fue algo que se le ocurrió a alguien de la noche a la mañana, sin duda alguna las pruebas y experimentación fueron las bases para poder realizar tal recomendación, por ende ingenio Magdalena en la década de los Noventas (1,992) creo lo que es el departamento de investigación agrícola, el cual realizaba evaluaciones de distintas tintas índoles relacionadas con la producción del cultivo. Fue en año 2,009 que se crean áreas específicas dentro del departamento de investigación: surgiendo lo que es: suelos y fertilidad, variedades, productos, malezas y otros. Ayudando esto a ser más específicos a la implementación de evaluaciones, y por ende a la generación de recomendaciones que ayuden a la mejora de la producción del cultivo.

1.4.2 Ubicación

El área de suelos y fertilidad del departamento de investigación y desarrollo se encuentra ubicada en el interior de la finca Buganvilia, en el Km. 99.5, La Democracia Departamento de Escuintla, camino a La Gomera.

1.4.1 Datos obtenidos

Las principales labores y actividades que realiza el área de suelos y fertilidad del departamento de investigación y desarrollo agrícola es la investigación en el componente

edafológico, teniendo la finalidad de generar conocimientos e información que pueda ayudar a dar recomendaciones certeras ante las problemáticas nutricionales presentes en suelos dedicados a la producción de caña de azúcar (*Saccharum spp*). Las actividades que realiza dicha área son muestreo de suelos para su posterior análisis en laboratorio, mediciones con sensores de humedad, elaboración y prueba de fertilizantes a base de cachaza, pruebas con fertilizantes orgánicos y químicos, y trabajos en agricultura de precisión.

La participación del área de suelos y fertilidad a nivel de campo, es en respuesta de la observación de problemáticas o limitantes que el componente edafológico presenta para el crecimiento y desarrollo del cultivo de caña de azúcar (*Saccharum spp*). Los análisis de suelo y análisis foliar son herramientas que en la actualidad juegan un papel muy importante para el diagnóstico actual nutricional tanto del suelo, como de la planta.

La investigación en campo que realiza el área de suelos y fertilidad, es una de las herramientas importantes, que pueden ayudar a generar conocimientos e información en áreas específicas, y por ende son un aporte fundamental en la elaboración de las recomendaciones de nutrición.

1.4.4 Jerarquización de problemas

Los problemas identificados en fincas del área central del ingenio Magdalena son los siguientes:

Cuadro 1: problemas detectados en suelos productores de caña de azúcar

1	suelos carentes de macronutrientes y micronutrientes
2	pH del suelo inadecuado para la solubilidad de micronutrientes
3	Heterogeneidad de los suelos
4	Desgaste nutricional de los suelos provocado por el monocultivo
5	suelos con baja capacidad de infiltración (anegamiento) y suelos arenosos con poca capacidad de retención de agua

Fuente: Propia

El primer problema encontrado hace referencia a la carencia de nutrientes en el suelo, según los análisis de suelo que se realizan en fincas del ingenio, muchas presentan deficiencias tanto de macronutrientes así como de micronutrientes.

El pH del suelo es el segundo problema encontrado, existen suelos que se encuentran en rangos extremos, siendo menores a 5.5 y mayores a 7.5, haciendo difícil la solubilidad y disponibilidad de nutrientes, especialmente micronutrientes.

El tercer problema encontrado es la heterogeneidad de los suelos, es fácil poder identificar áreas que poseen suelo arcilloso pero que al caminar unos 10 metros ya se puede encontrar suelo areno. Como resultado de este problema se hacen ineficientes las recomendaciones homogéneas para suelos heterogéneos.

El monocultivo y recomendaciones inadecuadas han propiciado el desgaste nutricional en la mayoría de suelos, por ende se ven bajas en la producción del cultivo, teniendo mermas en el tonelaje.

La problemática cinco es el resultado de tener áreas con suelo arcilloso y áreas con suelo arenoso, teniendo que los suelos arcillosos presentan problema de anegamiento, lo impide el intercambio gaseoso por parte de la raíz, produce pudrición y no permite la absorción de nutrientes. Mientras que los suelos arenosos por poseer partículas más grandes, no tiene la capacidad de retener humedad y por tal motivo se llega más rápido al punto de marchites permanente.

1.4.5 Problemática priorizada

La priorización de problemas se realizó en una matriz de priorización de problemas, en donde se comparó un problema con otro y se seleccionó el más importante (Cuadro 2)

Cuadro 2: Matriz de priorización de problemas, área de suelos y fertilidad.

	suelos carentes de macronutrientes y micronutrientes	pH del suelo inadecuado para la solubilidad de micronutrientes	Heterogeneidad de los suelos	Desgaste nutricional de los suelos provocado por el monocultivo	suelos con baja capacidad de infiltración (anegamiento) y suelos arenosos con poca capacidad de retención de agua
suelos carentes de macronutrientes y micronutrientes	-----	SCMAYMI	SCMAYMI	SCMAYMI	SCMAYMI
pH del suelo inadecuado para la solubilidad de micronutrientes		-----	PHI	PHI	PHI
Heterogeneidad de los suelos			-----	HS	HS
Desgaste nutricional de los suelos provocado por el monocultivo				-----	DNPM
suelos con baja capacidad de infiltración (anegamiento) y suelos arenosos con poca capacidad de retención de agua					-----

Fuente: propia

La matriz de priorización consistió en describir los problemas en el eje superior de la tabla y en el eje izquierdo describir las mismas problemáticas en el orden que fueron colocadas en el eje superior, esta metodología permitió la fácil comparación de la problemática. En el cuadro 3 se presenta la clave o abreviatura para cada una de las problemáticas trabajadas.

Cuadro 3: Clave para la jerarquización de problemas

Abreviatura	Problema
PHI	pH del suelo inadecuado para la solubilidad de micronutrientes
SCMAYMI	suelos carentes de macronutrientes y micronutrientes
HS	Heterogeneidad de los suelos
DNPM	Desgaste nutricional de los suelos provocado por el monocultivo

Fuente: propia

El cuadro 4 muestra los problemas encontrados y su frecuencia, así como su nivel de priorización.

Cuadro 4: Nivel de priorización de problemas y su frecuencia

PROBLEMÁTICA	NIVEL DE PRIORIZACIÓN	FRECUENCIA
suelos carentes de macronutrientes y micronutrientes	1	4
pH del suelo inadecuado para la solubilidad de micronutrientes	2	3
Heterogeneidad de los suelos	3	2
Desgaste nutricional de los suelos provocado por el monocultivo	4	1

Fuente: propia

El cuadro 4 muestra los problemas y su frecuencia, así como su nivel de priorización. El problema más frecuente fue el de suelos carentes de macronutrientes y micronutrientes, siendo este el de mayor nivel de priorización, seguido por pH del suelo inadecuado para la solubilidad de micronutrientes, por lo cual se tomaron como puntos para la realización de investigación y servicios como parte del Ejercicio Profesional Supervisado (EPS).

1.5 CONCLUSIONES

Las principales labores y actividades que realiza el área de suelos y fertilidad del departamento de investigación y desarrollo agrícola es la investigación en el componente edafológico.

El principal problema en los suelos de las fincas del área central es que son deficientes de nutrientes, (macronutrientes y micronutrientes) debido a la naturaleza de los mismos o bien derivados del desgaste nutricional provocado por el monocultivo.

1.6 BIBLIOGRAFÍA

1. CENGICAÑA (Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar, GT). 1994. Estudio semidetallado de suelos de la zona cañera del sur de Guatemala. Guatemala. 242 p.
2. _____. 2013. Mapa de la zona cañera (en línea). Guatemala. Consultado 25 jun 2013. Disponible en <http://cengicana.org/es/mapas-zona-canera>
3. Flores, S. 1976. Manual de caña de azúcar. Guatemala, Instituto Técnico de Capacitación y Productividad. 172 p.
4. Gutiérrez L, HL. 2000. Evaluación del efecto de niveles de nitrógeno y gallinaza sobre el rendimiento de grano en dos cultivares de maíz (*Zea mays* L.), en la aldea Las Trojes, Amatitlán. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 68 p.
5. Orozco, H; Queme, L; Castro, O; Catalán, M. 2004. Catálogo de variedades promisorias de caña de azúcar de la agroindustria azucarera guatemalteca. Guatemala, CENGICAÑA. 40 p.
6. Pérez, O; Ufer, C; Azañón, V; Solares, E. 2008. Estrategias para la optimización de los fertilizantes nitrogenados en el cultivo de caña de azúcar en Guatemala (diapositivas). Escuintla, Guatemala, CENGICAÑA. 25 diapositivas.



2.1. PRESENTACIÓN

En la región de la costa sur de Guatemala, la producción del cultivo de caña de azúcar es una de las actividades agrícolas más importantes, ya que esta genera miles de empleos de manera directa e indirecta. Sin embargo en su producción existen limitantes que afectan de manera negativa el rendimiento. La fertilidad de los suelos es uno de los factores más importantes, ya que dependiendo de la nutrición que reciba la planta así será su crecimiento y desarrollo, y por ende su respuesta en el rendimiento (Suárez L, 2014).

Las plantas como la caña de azúcar requieren para su crecimiento y desarrollo 17 elementos denominados esenciales. Estos nutrientes son carbono (C), hidrogeno (H), oxígeno (O), nitrógeno (N), fosforo (P), potasio (K), hierro (Fe), calcio (Ca), manganeso (Mn), magnesio (Mg) zinc (Zn), cobre (Cu), boro (B), molibdeno (Mo), cloro (Cl) níquel (Ni) (Pérez O, 2012). Los macronutrientes y micronutrientes en sí ayudan a realizar cada uno de los procesos metabólicos, los elementos menores deben este nombre a las cantidades relativamente pequeñas que las plantas requieren, y aun en pequeñas cantidades son igual de importantes que los macronutrientes (Lieving 1840). En este caso se evaluó el efecto de la aplicación de boro vía foliar en caña de primera soca, en la finca Polonia ubicada en el municipio de La Democracia, Escuintla.

Durante el proceso productivo de la caña de azúcar existen factores que afectan de manera negativa el rendimiento, entre esos factores la fertilidad de los suelos es uno de los más importantes. Problemas de disponibilidad de boro han promovido la implementación de investigación para poder generar soluciones a dicha problemática. En la región Cañera de la costa sur existen suelos con pH por debajo de 6.5 y por encima de 7.3 lo cual no permite que este se solubilice, impidiendo la disponibilidad para el cultivo de la caña. Las aplicaciones de Boro al suelo no son recomendables para estas condiciones de pH, por lo que se ve a la aplicación de Boro vía foliar es más viable.

Los suelos ácidos y alcalinos presentan problemática en cuanto a la disponibilidad de Boro y otros nutrientes, principalmente porque estos no se solubilizan y por ende no son absorbidos por las plantas. Lo descrito anteriormente se manifiesta, en que de un total de

3,337 muestras de suelo, un 29.25% poseen un pH por debajo de 6.5 y un 29.46% se encuentran por arriba de un pH de 7.3. Por lo cual se requiere de la evaluación de vías de aplicación que garanticen que la planta recibirá los nutrientes necesarios para su correcto crecimiento y desarrollo (IMSA, 2014).

El presente trabajo evaluó la respuesta del cultivo de caña de azúcar a la aplicación foliar de boro (B). Se logró comprobar que la aplicación de boro por esta vía no tiene efecto alguno en ninguna de las variables evaluadas.

2.2. MARCO TEÓRICO

2.2.1. Marco conceptual

2.2.1.1. Origen del cultivo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*)

No se conoce con exactitud el origen de la caña de azúcar; se han propuesto muchas teorías al respecto, sin embargo, se considera que el centro de origen del complejo *Saccharum* es la región que comprenden parte de la India, China, Nueva Guinea y zonas aledañas, por encontrarse ahí el mayor número de especies (Subiros, 2000).

Es importante distinguir la diferencia entre los centros de origen y centros de diversidad. Los primeros se refieren a los lugares de donde es originario el cultivo, mientras los segundos son aquellos en los cuales los cultivos, que provienen de determinadas áreas, pueden pasar a otras (incluso áreas distantes) con características más favorables para crecimiento y desarrollo; de esta manera se constituye un centro de diversidad.

Taxonomía del cultivo

La clasificación taxonómica de la caña de azúcar es la siguiente:

Reino:	Plantae
División:	Magnoliophyta
Clase:	Liliopsida
Sub- Clase:	Commelinidae
Orden:	Poales
Familia:	Poaceae
Subfamilia:	Panicolideae
Tribu:	Andropogoneae
Género:	Saccharum
Especie:	spp.

2.2.1.2. Variedad CG 98-10

La variedad de caña de azúcar CG98-10 es un híbrido del género *Saccharum* sp, que se seleccionó de la descendencia de cruzamiento entre los progenitores PR87-2078 x PR87-2073, el cual fue hecho en la cuarta campaña de cruzamientos por el programa de Variedades del Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la caña de azúcar (CENGICANÑA) en la zafra 1996-1997.

En cuanto a su información técnica de experiencias de campo se tiene que CG98-10 superó en productividad de azúcar a la variedad testigo CP72-2086 en los estratos: Alto (>de 300 msnm), Medio (100-300 msnm) y Bajo (0-100 msnm) de la zona cañera de Guatemala. En su reacción a enfermedades posee resistencia adecuada a las enfermedades más importantes de la zona cañera guatemalteca, tales como, al carbón (*Ustilago scitaminea*), Escaldadura de la hoja (*Xantomonas albilineans*), roya marrón (*Puccinia melanocephala*), roya naranja (*Puccinia icuenní*), Amarillamiento foliar (SCYLV) y Mosaico (SCMV).

2.2.1.3. Características Agronómicas de CG98-10 para su manejo

El hábito de crecimiento de los tallos es ligeramente inclinado. Los tallos son de longitud mediana y de bueno a regular diámetro. Los tallos presentan raíces aéreas en el primer tercio del tallo. La cantidad de follaje es abundante y no deshoja naturalmente. Floración: 1 y 0 % en estrato alto, medio y bajo, respectivamente (floración menor que CP72-2086). Corcho: 24, 20 y 7% en estratos alto, medio y bajo, respectivamente (en la mayoría de los casos es menor o igual que CP72-2086)

Fibra: mayor porcentaje de fibra y toneladas de fibra por hectáreas que la CP72-2086).

Responde al madurante en forma similar a la CP72-2086 para el tercer tercio de la zafra.

Es tolerante a terbutrina y Diurón y susceptible a ametrina. La emergencia y el rebrote de la variedad CG98-10 son igual a la CP72-2086, además presenta un mejor cierre.

La figura 1 muestra detalles de la morfología de los órganos que componen a la planta de caña de azúcar.



Figura 1: Morfología de la variedad CG98-10

2.2.1.4. Morfología de la caña de azúcar

La caña de azúcar, al igual que otras plantas, está constituida por raíces, tallos, hojas y flores

2.2.1.5. La raíz

La función principal del sistema radicular es de absorber agua y sales minerales, proporcionar anclaje y almacenar materiales de reserva.

La raíz primaria está ubicada en el embrión. Las raíces que se originan en el tallo, en la banda de raíces (zona cerca del entrenudo), son adventicias. Este tipo de raíces, que se forman en el tallo de la caña de azúcar, en otras plantas pueden originarse a partir de la hoja.

2.2.1.6. El tallo

Es el órgano de mayor importancia (desde el punto de vista económico), debido a que en él se almacenan los carbohidratos producidos de la fotosíntesis de la planta. Posteriormente, por medio del proceso industrial se obtienen la sacarosa y otros derivados como la melaza, bagazo, cachaza y actualmente alcohol y energía eléctrica.

El tallo se forma en el momento de germinar las yemas. Entonces se produce un primer eje (tallo primerio) con sus respectivos nudos y entrenudos. Del tallo primario, a su vez, germinan yemas que producen nuevos brotes denominados tallos secundarios; de estos brotan yemas y se originan los tallos terciarios y, así sucesivamente, hasta constituir una aglomeración, procesos que se denominan macollamiento. Los tallos están formados por nudos y entrenudos. En cada nudo esta insertada una hoja. Las hojas generalmente están distribuidas en forma alterna, en cuya axila se encuentra la yema. En el extremo distal del tallo se halla el meristemo apical.

Cuadro 5: Principales componentes del tallo de la caña de azúcar

Componente	% del tallo
Agua	73 – 76
Sacarosa	8 – 15
Fibra	11 – 16

Fuente: (Perafán, 2002)

2.2.2. Importancia económica

La agroindustria azucarera guatemalteca representa el 27% del valor total de la exportación agrícola guatemalteca y 12.85% de las exportaciones totales del País. Es el segundo sector económico que más divisas genera en nuestro país. Durante el año 2012, el azúcar y la melaza produjeron ingresos de US\$843.7 millones. (ASAZGUA, 2013)

La agroindustria azucarera guatemalteca, que representa alrededor del 3% del PIB nacional, genera 421,000 empleos directos e indirectos, 32,000 corresponden a cortadores de caña.

2.2.2.1. Cogeneración de energía eléctrica

Del proceso de la caña se aprovecha el bagazo para la generación del 25.0% de energía eléctrica en época de zafra dentro del sistema nacional interconectado –SIN- que representa 398 MW de potencia instalada. (ASAZGUA, 2013)

2.2.2.2. Alcohol

En solo tres años la agroindustria Azucarera guatemalteca se convirtió en el principal productor de alcohol originario en la región centroamericana, sin disminuir su producción de azúcar ya que este se fabrica a partir de mieles (subproductos en la elaboración de azúcares) lo que significa que en ningún momento se dejara de hacer azúcar por producir alcohol.

En la actualidad cinco empresas en donde participan algunos ingenios realizan este proceso alcanzando una producción de 269 millones de litros al año. Este producto es exportado a Europa y Estados Unidos. (ASAZGUA, 2013).

Ubicación de la agroindustria azucarera en el país

La agroindustria azucarera está ubicada en los departamentos de: Suchitepéquez, Retalhuleu, Escuintla y Santa rosa con área cultivada de aproximadamente de 235,000 Has.

2.2.2.3. Área cultivada de caña de azúcar en el País

Del total de área cultivada en el país 2,999,960 Has, correspondientes al 27.53% de área total del territorio nacional, el cultivo de caña de azúcar abarca alrededor de 235,000 Has, lo que equivale a un 2.15% del área nacional y a un 7.83% del área total cultivada. La figura 2 presenta un mapa del área que actualmente se cultiva con caña de azúcar en Guatemala.

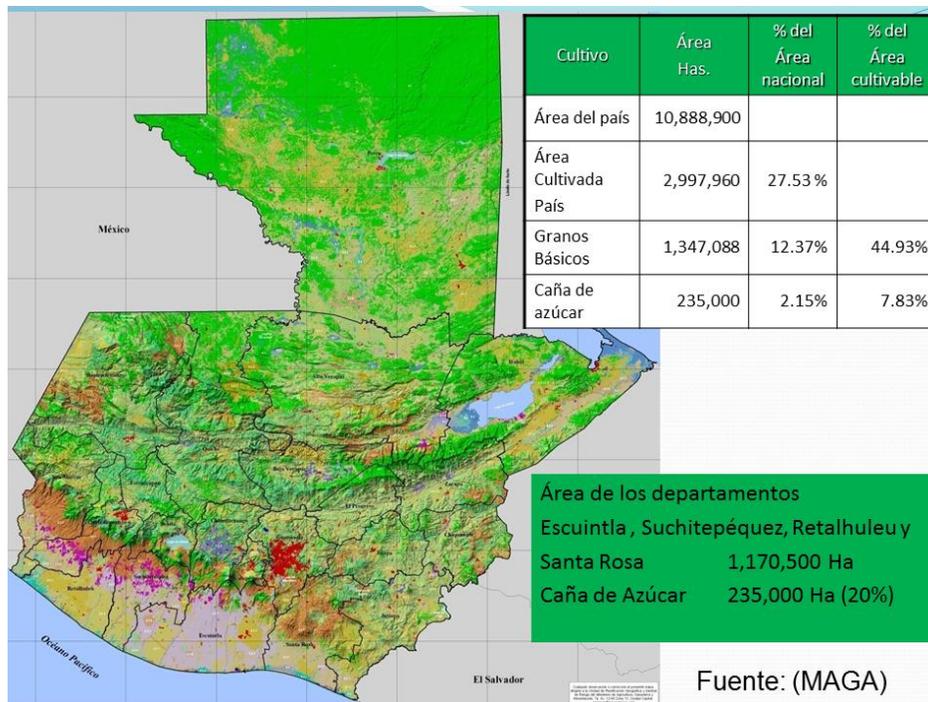


Figura 2: Área cultivada con caña de azúcar en Guatemala (ASAZGUA, 2014)

2.2.3. Nutrición Vegetal

La nutrición vegetal es el proceso mediante el cual la planta absorbe del medio que le rodea las sustancias que le son necesarias para desarrollarse y crecer. Estas sustancias son exclusivamente de tipo mineral o inorgánico. Para garantizar la nutrición de los cultivos y asegurar sus rendimientos en cantidad y calidad se suelen emplear fertilizantes minerales. Las exigencias de sostenibilidad económica y de producción de mínimos impactos ambientales que actualmente condicionan la actividad agrícola obligan a que la aplicación de fertilizantes minerales se calcule y aplique con el máximo rigor científico y técnico. (10).

Carbono (C)	Nitrógeno (N)	Azufre (S)
Hierro (Fe)	Cobre (Cu)	Cloro (Cl)
Hidrógeno (H)	Fósforo (P)	Calcio (Ca)
Zinc (Zn)	Molibdeno (Mo)	Oxígeno (O)
Potasio (K)	Magnesio (Mg)	Manganeso (Mn)
Boro (Boro)		

A estos 16 elementos podrían añadirse algunos otros, tales como sodio (Na), el silicio (Si) y el cobalto (Co), que sólo parecen ser necesarios para algunas especies. La anterior relación de elementos nutritivos no debe considerarse completa aún, pues podría incrementar en el futuro, como lo es el caso del Níquel (Ni). (10).

2.2.3.1. Boro

EL boro (B) es un elemento químico de la tabla periódica con símbolo B y número atómico 5, algo que lo caracteriza es que es trivalente con vacantes electrónicas en su orbital, por lo cual puede presentar alta apetencia de electrones, formando moléculas o compuestos al reaccionar con sustancias o elementos ricos en electrones.(Química de Chang)

Es un nutriente catalogado como esencial para las plantas, su papel específico no está completamente claro, pero afecta muchos procesos en forma indirecta. Interviene en el transporte de azúcares pues forma complejos con los átomos de oxígeno libre o con grupo OH presentes en ellos, reduce su polaridad y facilitando su transporte a través de las membranas. Participa en diferenciación y desarrollo celular, en el metabolismo del Nitrógeno, en la absorción de sales, en el metabolismo hormonal, en las relaciones hídricas, en el metabolismo lipídico y de ligninas, en el metabolismo del P y en la fotosíntesis.

2.2.3.2. Síntomas de deficiencias de boro generalizando cultivos

Debido a su inmovilidad, los síntomas se presentan en primer lugar en las zonas más jóvenes, tanto de raíces como de tallos y los ápices pueden acabar muriendo. Las hojas presentan una textura dura y coriácea, y los tallos se vuelven quebradizos y agrietados.

Síntomas de toxicidades de boro generalizando cultivos

Es usualmente asociado con regiones áridas o semiáridas, donde los niveles de B son frecuentemente altos en suelo o con aplicaciones foliares excesivas. Los síntomas de esta toxicidad se originan con una clorosis marginal en las puntas, seguida por una

necrosis total de la hoja y su subsecuente muerte. El daño comienza primero en hojas viejas y luego avanza hacia las más jóvenes.

La absorción de micro-elementos es muy variada, el manganeso es uno de los que se absorbe en mayor cantidad, seguido por el zinc, boro y cobre. La mayor absorción de estos se da del sexto mes en adelante, correspondiéndole al boro una absorción de 67% continuando entre el mes siete y diez (figura 3)

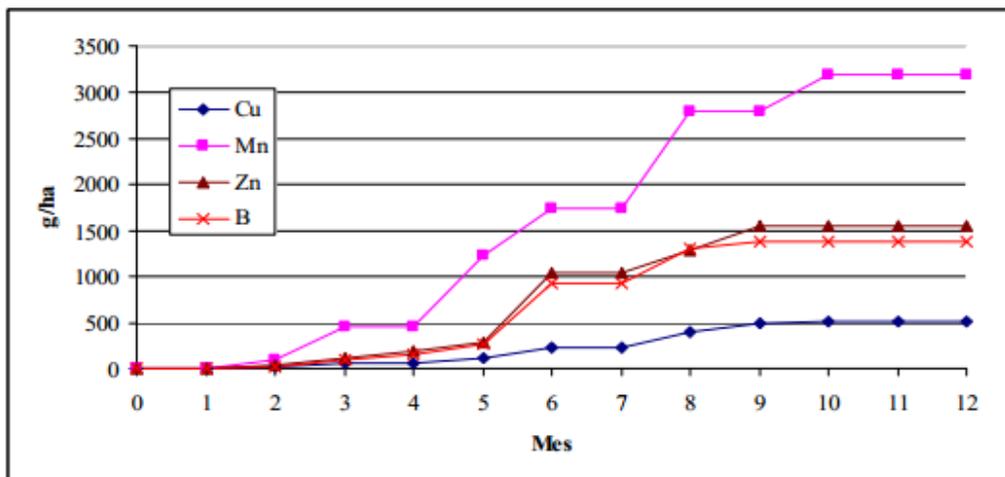


Figura 3: Curva de absorción de cobre, manganeso, zinc y boro (Durán A. Honduras 2008)

2.2.3.3. El boro en la pared celular

La pared celular es fundamental en la determinación del crecimiento y desarrollo de la célula vegetal, que involucra una dinámica y continua modificada durante la diferencia celular (Pérez A, 2006).

2.2.3.4. pH del suelo y absorción de nutrientes

El pH del suelo es una medida de la concentración de iones hidrógeno (H^+) en la disolución del suelo (expresa, por tanto, su grado de acidez o alcalinidad). Según los valores del pH, se pueden considerar las siguientes categorías de suelos: muy ácido ($pH < 5.5$); ácidos (pH comprendido entre 5.5 y 6.5); neutros (pH entre 6.5 y 7.5); alcalinos (pH entre 7.5 y 8.5); y muy alcalinos ($pH > 8.5$). (12)

El pH ejerce una gran influencia en las reacciones de adsorción/desorción y disolución/precipitación que regulan la disponibilidad de varios nutrientes (fósforo, hierro, cobre, manganeso, cinc, boro y molibdeno). Y, al influir decisivamente en la descomposición de la materia orgánica, influye en la facilidad con la que pueden hacerse disponibles para las plantas las formas orgánicas de N, S y P. Considerando ambos aspectos, el intervalo de pH en el que es máxima la disponibilidad de la mayoría de los nutrientes está entre 6 y 7. (12)

2.2.3.5. Fertilización foliar

La fertilización foliar es una práctica efectiva para la corrección de deficiencias nutricionales en plantas que se encuentren en suelos con baja disponibilidad de nutrientes. Consiste en aplicar disoluciones de nutrientes directamente sobre las hojas. Esta absorción en la hoja se desarrolla mayoritariamente a través de la epidermis, por difusión, debido al gradiente de concentración del nutriente que se establece entre la superficie de la hoja y en el interior de la epidermis. (13)

La absorción foliar de nutrientes a través de la hoja se puede visualizar como un proceso de tres etapas:

Etapa 1: Retención del producto en la hoja. En esta etapa, el nutriente es aplicado por aspersión sobre la superficie de la hoja; es recomendable que el nutriente se mantenga en contacto con la hoja el mayor tiempo posible, preferiblemente de 3 a 4 horas, lo que aumenta la probabilidad de ser absorbido por esta (Fageria, Barbosa, Moreira y

Guimaraes, 2009). Generalmente, condiciones de alta humedad relativa favorecen la permeabilidad de la cutícula; la temperatura media (20 °C) y uso de agentes tensoactivos ayuda a que la gota que contiene los nutrientes se mantengan por más tiempo en contacto con la superficie foliar (Stevens, Baker y Anderson, 1988, Tarango, 1992).

Etapa 2: Transporte del nutriente a las células. En esta fase el nutriente es transportado a través de las diferentes capas de la hoja, donde supera una serie de barreras naturales, hasta llegar a las células epiteliales.

Etapa 3: Movimiento del nutriente hasta los órganos. En este paso los nutrientes son transportados desde las células epidermales hasta los órganos donde la planta los requiera, para lo cual atraviesan espacios intercelulares (apoplasto) o células de diferentes tejidos (simplasto). Una vez que los nutrientes llegan al tejido vascular (xilema y especialmente floema) se acelera dramáticamente su movilidad hasta los tejidos de destino (13).

2.2.3.6. Wetagro

Adherente, penetrante, humectante, dispersante. Agente coadyuvante que por sus características fisicoquímicas rompen la tensión superficial de las gotas de los plaguicidas que se aplican a los cultivos, le dan un alto poder adherente, dispersante y penetrante a las mezclas de herbicidas, fungicidas e insecticidas. Indicado para todos los cultivos.

2.3. Marco referencial

La investigación se llevó a cabo en la finca Polonia, la cual se encuentra localizada en el municipio de la Democracia, Escuintla. Las coordenadas del área de incidencia son 14°03'30.50"N y 90°57'18.92" O, encontrándose a una elevación sobre el nivel del mar de 35 metros. La figura 4 muestra el área en la cual se realizó la investigación.

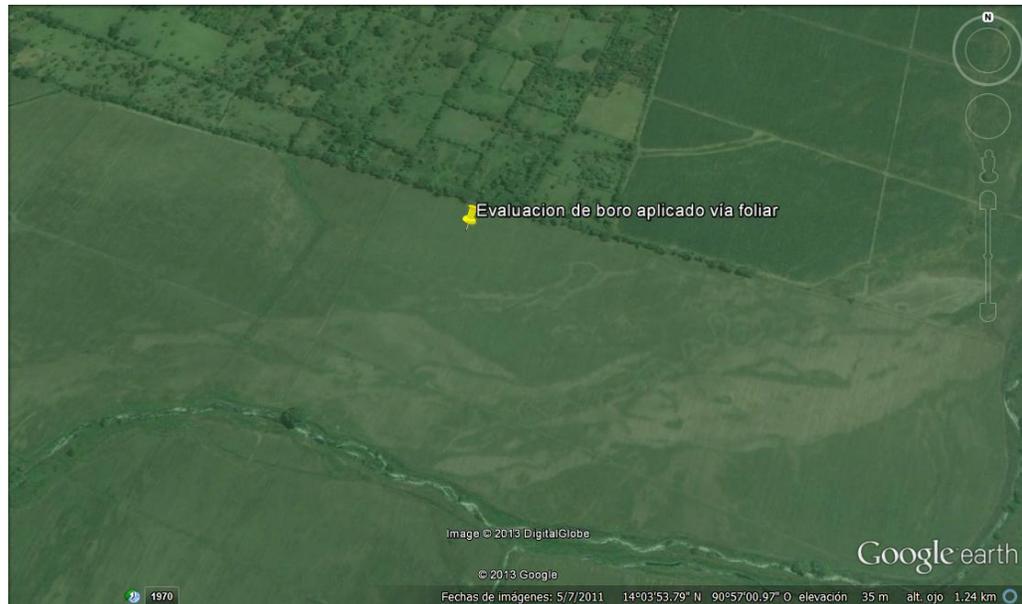


Figura 4: Ubicación geográfica del área de realización de la investigación

2.3.1. Colindancias

La finca Polonia colinda al norte con finca la Quijada, al sur con finca Luceros, al este colinda con finca Varsovia y al oeste con la calle que de la Democracia dirige hacia el parcelamiento los Ángeles.

Localizado en el estrato litoral, menos de 100 msnm (35msnm), siendo un suelo Entisol.

2.4. HIPÓTESIS

La mayor dosis de boro aplicada vía foliar produce un mejor rendimiento en el cultivo de caña de azúcar (*Saccharum sp*).

2.5. OBJETIVOS

2.5.1. General

- Evaluar la respuesta del cultivo de caña de azúcar (*Saccharum sp*) a la aplicación foliar de boro para establecer la dosis adecuada en función de los resultados obtenidos.

2.5.2. Específicos

- Evaluar seis niveles de Boro aplicado vía foliar y su efecto en las variables toneladas de caña y toneladas de azúcar por hectárea.
- Determinar los niveles de boro en el tejido foliar del cultivo de caña de azúcar (*Saccharum sp*)

2.6. METODOLOGÍA

2.6.1. Tratamientos evaluados

El cuadro 6 muestra los tratamientos evaluados en la investigación.

Cuadro 6: Descripción de los tratamientos evaluados

No.	Fertilización	DOSIS	APLICACIÓN
T.	Base	BORO ppm	(días después del corte)
1	NPKS	750	150
2	NPKS	1,500	150
3	NPKS	3,000	150
4	NPKS	6,000	150
5	NPKS	12,000	150
6	NPKS	24,000	150
7	NPKS	TESTIGO RELATIVO	(Aplicado solo son NPKS)

Nota: todos los tratamientos incluyendo al testigo relativo fueron fertilizados al suelo con Nitrógeno, Fosforo, potasio y azufre

La figura 5 muestra la distribución en campo de los tratamientos evaluados.

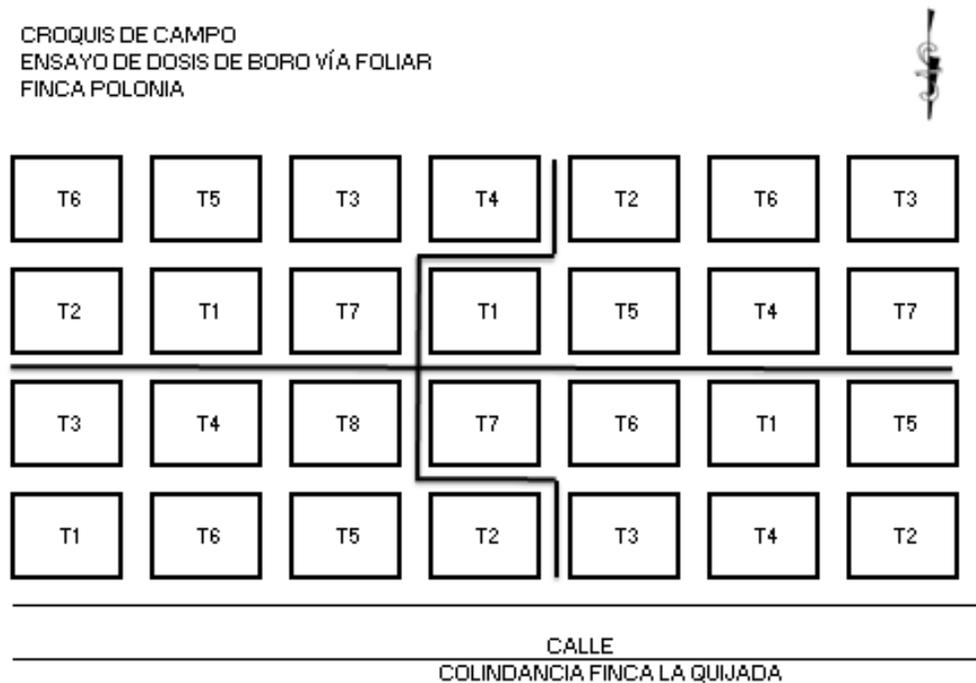


Figura 5: Distribución de los tratamientos en campo (fuente: propia)

2.6.2. Diseño Experimental

El diseño experimental utilizado fue el de bloques completos al azar, estableciendo seis tratamientos más un testigo relativo con sus cuatro repeticiones respectivas.

Modelo estadístico

El modelo estadístico es el siguiente:

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

y_{ij} : variable de respuesta observada o medida en el i -ésimo tratamiento y el j -ésimo bloque.

μ : media general de la variable de respuesta

τ_i : Efecto del i -ésimo tratamiento

β_j : Efecto del j -ésimo bloque

u_{ij} : error asociado a la ij -ésima unidad experimental

Unidad experimental.

2.6.3. Unidad experimental

La unidad experimental consistió de 6 surcos (1.5 metros entre surcos o según distanciamiento comercial) y de 10 m de largo, total de unidades experimentales establecidas 28. La figura 6 muestra un esquema de la unidad experimental.

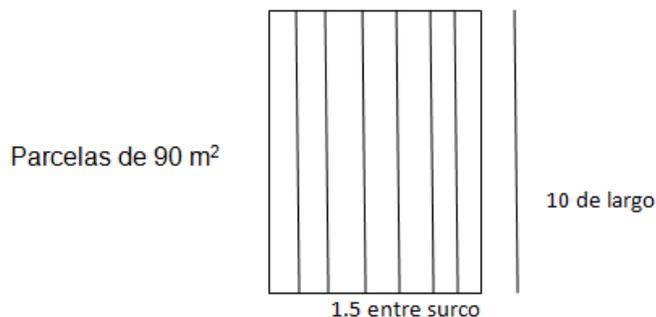


Figura 6: Unidad experimental

2.6.4. Aplicación de los tratamientos

Las aplicaciones de boro vía foliar se realizaron a los cinco meses de edad del cultivo, para ello se implementaron bombas de mochila de 17 litros. La fuente de boro utilizada fue solubor (21%), cada solución se realizó en base a un volumen de agua a razón de 200 lts/ha, para este caso 7.2 lts/tratamiento.

2.6.5. Manejo agronómico del experimento

2.6.5.1. Fertilización base:

La fertilización base de nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K) y azufre (S) se realizó de manera manual, en dosis de 128 kg/ha de N, 40 kg/ha de P, 100 Kg/ha de K y 40 kg/ de azufre. Dicha fertilización se realizó a los 35 días después del corte realizando un zanjeado a diez centímetros de distancia del surco, Esta fue aplicada en todos los tratamientos.

El manejo de la plantación en cuanto a control de malezas, riego, control de plagas y cualquier otra labor necesaria se hizo en forma uniformizada en todas las parcelas conforme al manejo agronómico de la finca.

2.6.5.2. Control de malezas

2.6.5.2.1. Control químico

Se realizó mediante mezcla de herbicidas, la decisión de la mezcla aplicada se tomó en base a las recomendaciones propuestas por la casa comercial y la decisión del mayordomo encargado de la finca.

2.6.5.2.2. Control manual

Básicamente consistió en el arranque de malezas de manera manual, colocándolas dentro de un costal y sacarlas fuera del área del cultivo.

2.6.5.2.3. Control mecanizado

Consistió en la utilización de implementos de mecanización agrícola con la finalidad de desmenuzar las malezas presentes (cultivadora).

2.6.5.3. Corte

Se realizó de manera manual, con herramientas como machetes especiales denominados colombiana, los cuales sirven para que el corte fuera más fácil y más bajo en el tallo de cañal.

2.6.6. VARIABLES DE RESPUESTA

2.6.6.1. Población

Para la población se contabilizaron los tallos presentes en los dos surcos centrales de cada unidad experimental, expresándose los resultados en tallos de caña/metro lineal, este muestreo se realizó a los cincuenta días de edad del cultivo.

2.6.6.2. Altura de la planta

Para la variable altura de tallos, se midió la longitud de 10 tallos primarios seleccionados al azar en los 2 surcos centrales de cada parcela (5 de cada surco), ello con el objetivo de evitar muestrear el efecto provocado por los tratamientos cercanos. La altura se midió desde el nivel del suelo hasta la última lígula visible (cuello de la hoja visible) de cada tallo. El primer muestreo de altura se realizó a los 60 días de edad del cultivo.

2.6.6.3. Clorofila

Se realizaron mediciones del contenido de clorofila en la hoja antes y después de la aplicación utilizando un clorofilometro. Se muestrearon 10 hojas (TDV) con lígula o cuello visible de cada unidad experimental, tomando cinco datos de cada una de ellas.

Toneladas de caña por hectárea (TCH)

2.6.6.4. Toneladas de caña por hectarea

Se cosecho en forma manual la totalidad de tallos de los 6 surcos de cada parcela a la edad de 12,66 meses. El peso total de tallos se determinó con la utilización de una balanza digital, con la implementación de dos alzadoras y cadenas.

2.6.6.5. Toneladas de azúcar por hectárea

Previo a la cosecha se realizó una pre-cosecha que consiste en seleccionar 5 tallos de cada unidad experimental, los tallos seleccionados deben de ser tallos primarios, posterior a la selección se llevan al laboratorio para la determinación de grados brix y pol y así determinar las toneladas de azúcar por hectárea.

2.6.6.6. Análisis de la información

Se realizó un análisis de varianza para la variables evaluadas, en caso necesario se utilizó una prueba de medias usando el comparador de Tukey con un 95% de significancia, utilizando el software INFOSTAT 2008.

2.7. RESULTADOS Y DISCUSIONES

2.7.1. Análisis de suelo

Con la finalidad de verificar el contenido de nutrientes que se encuentran en el suelo, se realizó un muestreo y un análisis de suelo en el área de evaluación.

Cuadro 7: Concentración de nutrientes en el suelo

Horizonte	pH	M.O.	P	K	Ca	Mg	S	Cu	Fe	Mn	Zn	B(AC)	POlse
A	8,38	1,28	6,44	69,60	2.760,00	912,00	15,20	14,30	226,00	118,00	1,97	0,14	17,46
B	8,04	0,57	15,50	33,10	1.470,00	631,00	15,40	11,60	206,00	85,30	1,75	0,09	10,05

Cuadro 8: Rangos adecuados de nutrientes en el suelo

Identificación	Ppm							Meq/100gr				%		
	pH	P	Cu	Zn	Fe	Mn	B	S	CIC	Ca	Mg	K	SB	M.O.
Rango	6-	12-16	2-4	4-6	10-	10-	0.5-0.8	20-	20-	4-8	1.5-	0.27-0.38	75-90	4-5
adecuado	6.5				15	15		30	25		2			

La fertilización en el cultivo de caña de azúcar se basa en respuestas obtenidas en evaluaciones realizadas, por lo cual se dice que en suelos con contenidos de materia orgánica < 3% y que sea caña soca se recomienda una dosis de 100-150kg/ha de Nitrógeno, en el caso del fosforo, en caña soca no se recomienda aplicar cuando los contenidos están por arriba de 10ppm, exceptuando sean suelos andisoles, para este caso se aplicó una dosis de 40kg/ha, esto con el objetivo que la evaluación cuente únicamente con variación únicamente en las dosis de boro aplicado vía foliar. El potasio para este caso se encuentra en menos de 100 ppm por lo cual fue recomendable su aplicación (Pérez O, 2012).

En cuanto al boro, se considera optimo un rango de 0.5 a 0.8 ppm, por lo que en este caso se puede decir que se encuentra por debajo de lo requerido.

2.7.2. ANÁLISIS FOLIAR

Con la finalidad de verificar el comportamiento de boro dentro de la planta se realizó un análisis foliar previo a la aplicación de los tratamientos, y un muestreo luego de la aplicación. En el muestreo foliar previo a la aplicación de los tratamientos, los resultados obtenidos muestran que el boro se encuentra en niveles óptimos (10-50 ppm) en todos los tratamientos (cuadro 9).

Cuadro 9: Análisis foliar previo a la aplicación de los tratamientos.

IDENTIFICACIÓN	%						Ppm					
	N	P	K	Ca	Mg	S	Na	Cu	Zn	Fe	Mn	B
RANGOS ACEPTABLES	2- 2.6	0.18- 0.3	1.1- 1.8	0.2- 0.5	0.1- 0.35	0.14- 0.2	-----	6- 25	20- 200	76- 300	100- 1000	10- 50
T1	2.03	0.26	1.44	0.44	0.26	0.07	40	5	10	95	20	18.2
T2	2.04	0.24	1.31	0.31	0.28	0.07	45	3	10	85	10	23.9
T3	1.99	0.23	1.31	0.38	0.31	0.07	35	3	10	65	15	35.7
T4	1.82	0.23	1.69	0.25	0.21	0.07	50	5	10	85	10	37.2
T5	1.91	0.24	1.44	0.31	0.29	0.07	50	3	10	85	15	37.4
T6	1.81	0.22	1.38	0.31	0.26	0.08	45	5	10	60	10	21.2
T7	1.98	0.23	1.56	0.38	0.28	0.07	45	2	10	85	10	20.9

Después de la aplicación se realizó un segundo muestreo tomando solamente el tratamiento 1 (menor dosis), tratamiento 6 (mayor dosis) y el tratamiento 7 (testigo relativo). Según estos resultados la concentración de boro aumento en comparación al muestreo anterior, aun en el testigo (cuadro 10).

Cuadro 10: Resultados de análisis foliar 60 días después de la aplicación

IDENTIFICACIÓN	%						Ppm					
	N	P	K	Ca	Mg	S	Na	Cu	Zn	Fe	Mn	B
RANGOS ACEPTABLES	2- 2.6	0.18- 0.3	1.1- 1.8	0.2- 0.5	0.1- 0.35	0.14- 0.2	-----	6- 25	20- 200	76- 300	100- 1000	10- 50
T1 750 ppm B	2.22	0.21	1.63	0.25	0.21	0.06	110	1	40	45	30	45.2
T6 24,000 ppm B	2.02	0.21	1.56	0.25	0.23	0.06	70	1	40	50	40	46.7
T7 testigo relativo	1.98	0.22	1.63	0.25	0.21	0.07	100	1	35	40	30	42.3

En base al cuadro 10 se observa como el tratamiento 1 aplicado con la menor dosis de boro (750 ppm) aumento 27 ppm, el tratamiento 6 aplicado con la mayor dosis de boro (24,000 ppm) aumento 25.5 ppm, es importante observar el comportamiento del testigo sin aplicación el cual también aumento 21.4 ppm. En base a estos resultados es notorio que el nivel de boro dentro de la hoja no se ve influenciado por la aplicación realizada, sino más bien pudiera atribuírsele a que el contenido de boro en el suelo (0.14 ppm) pudiere estar aportando este nutriente a la planta.

2.7.3. Población en tallos/metro lineal

En cuanto al primer muestreo realizado a los 45 días de edad del cultivo se observa similar número de tallos/metro lineal en todos los tratamientos evaluados, no obstante en el muestro final se observa como el tratamiento cuatro y seis se mantienen tallos/metro lineal por arriba del tratamiento 1 aplicado.

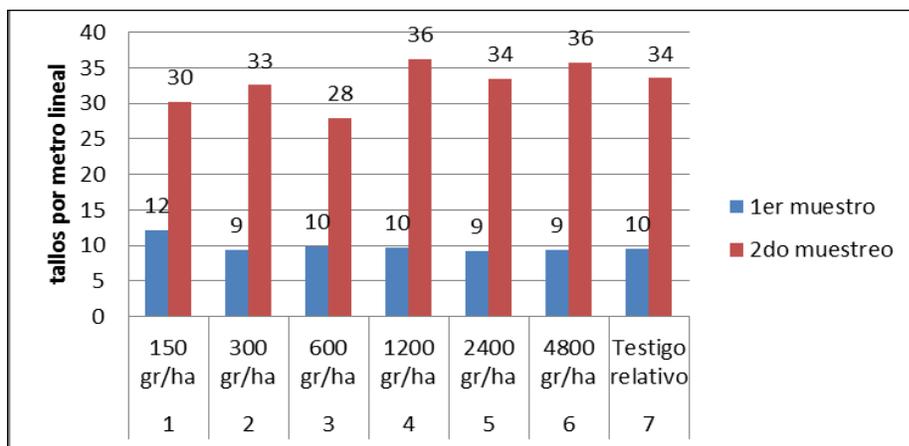


Figura 7: Comportamiento de tallos por metro lineal

En el cuadro 11, se muestran los resultados del análisis de varianza (ANDEVA), para la variable población (tallos/metro lineal) obtenidos en la finca Polonia, por el efecto de diferentes niveles de boro aplicado vía foliar. Estos resultados indican que existe diferencia significativa entre el número de tallos por cada uno de los tratamientos que se evaluaron, esto ya que el p-valor de los tratamientos es menor a 0.05.

Cuadro 11: Población en tallos/metro lineal de cada uno de los tratamientos evaluados.

Cuadro de análisis de la Varianza					
F.V.	SC	gl	CM	F	P-valor
Modelo	981,79	6	163,63	6,89	<0,0001
Tratamiento	981,79	6	163,63	6,89	<0,0001
Error	3157,5	133	23,74		
Total	4139,29	139			

El cuadro siete muestra el resumen del ANDEVA y la prueba de tukey realizada, en donde se detalla que existen tres agrupaciones, el tratamiento 4 y 6 presentan el mayor número de tallos/metro lineal con 36 tallos.

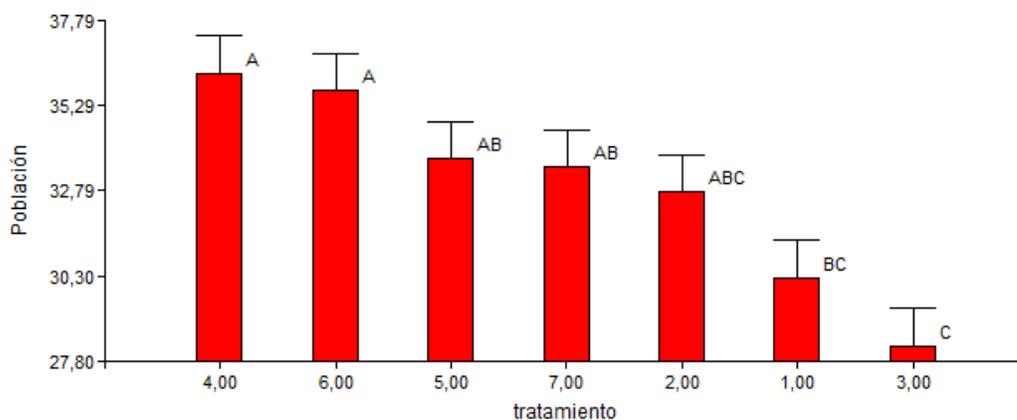


Figura 8: Población de caña de azúcar en evaluación de dosis de boro aplicado vía foliar

2.7.4. Altura de tallos

En la figura 9 se muestran los resultados de altura, teniendo un comportamiento muy similar entre tratamientos tanto en el primer como segundo muestreo, por lo cual se puede determinar que la altura no se ve influenciada por ninguna dosis de boro aplicado vía foliar.

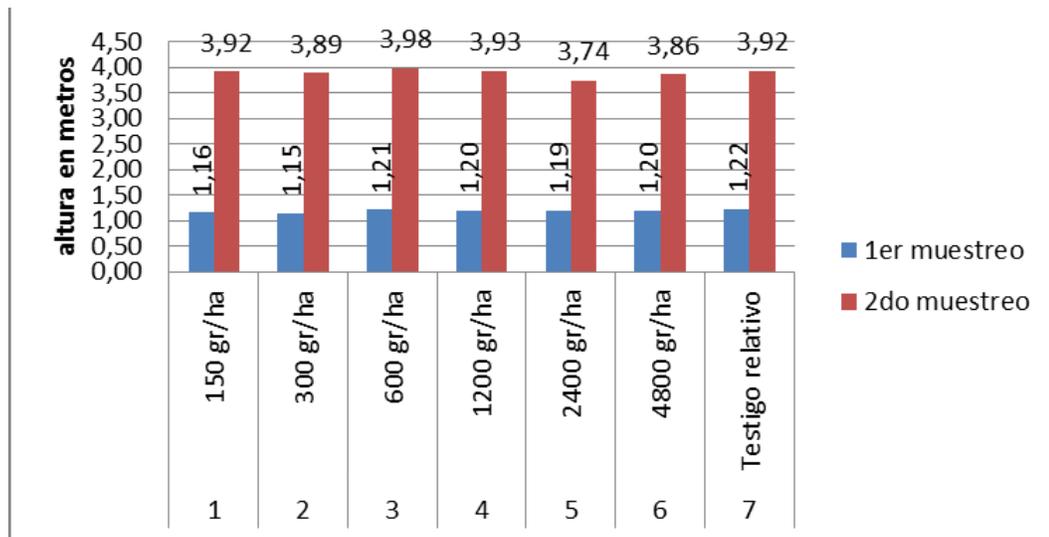


Figura 9: Comportamiento de altura en tallos

En el cuadro número 12, se muestra que según el análisis de varianza realizado (ANDEVA) para la variable altura, no se existe significancia en los tratamientos aplicados (p -valor < 0.05).

Cuadro 12: Resumen de análisis de varianza de altura de tallos

Cuadro de análisis de la Varianza					
F.V.	sc	gl	CM	F	P-valor
Modelo	1,02	7	0,15	0,84	0,5558
Tratamiento	1,02	7	0,15	0,84	0,5558
Error	26,44	152	0,17		
Total	27,46	159			

2.7.5. Número de entrenudos

En cuanto al número de entrenudos por tallos muestreados, se manifiesta que en el muestreo previo a la aplicación (1er muestreo) el número de entrenudos es muy similar entre sí para cada tratamiento, de igual forma en el segundo muestreo que es posterior a la aplicación en donde la variación es de 2 a 3 entrenudos entre tratamientos (figura 10).

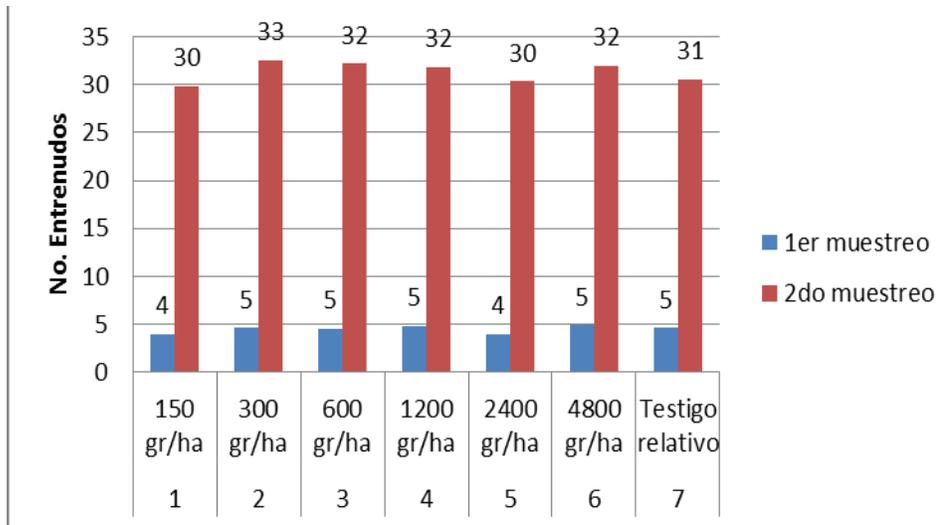


Figura 10: Comportamiento de la variable número de entrenados

Según el análisis de la varianza para el número de entrenados, debido a que el valor de P de los tratamientos es mayor a 0.05 se dice que no existe significancia entre el número de entrenados de cada tratamiento aplicado (Cuadro 13).

Cuadro 13: Resumen del análisis de varianza de número de entrenados

Cuadro de análisis de la Varianza					
F.V.	SC	gl	CM	F	P-valor
Modelo	137,44	7	19,63	1,6	0,1408
Tratamiento	137,44	7	19,63	1,6	0,1408
Error	1871,15	152	12,31		
Total	2008,59	159			

2.7.6. Unidades de Clorofila en la hoja

En cuanto a las unidades de clorofila en la hoja, se observa como el comportamiento es muy estable tanto del primer al segundo muestreo, manteniéndose en el mismo valor en algunos tratamientos y aumentando o disminuyendo en 1 o 2 unidades en los tratamientos (figura 11).

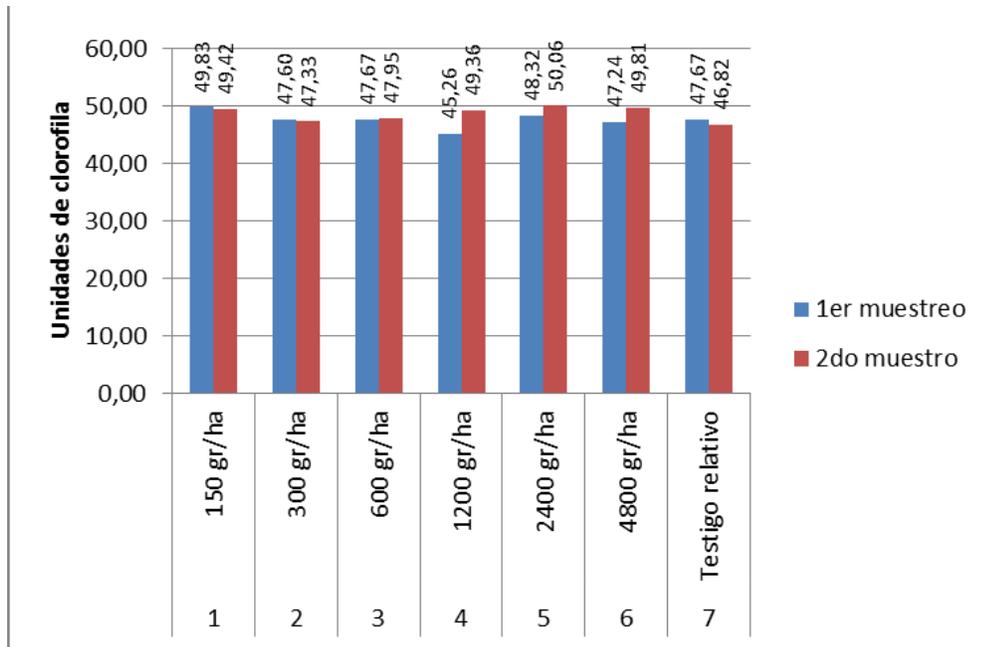


Figura 11: Comportamiento de clorofila

Para la variable clorofila el análisis de la varianza muestra que no existe significancia entre las unidades de clorofila por efecto de los tratamientos evaluados (Cuadro 14).

Cuadro 14: Resumen de análisis de varianza de clorofila

Cuadro de análisis de la Varianza					
F.V.	sc	gl	CM	F	P-valor
Modelo	199,98	6	33,33	1,93	0,081
Tratamiento	199,98	6	33,33	1,93	0,081
Error	2301,21	133	17,3		
Total	2501,19	139			

2.7.7. Toneladas de caña y toneladas de azúcar por hectárea (TCH, TAH)

En la figura 12, se aprecia la producción y rendimiento obtenidos de la evaluación de dosis de boro aplicado vía foliar, siendo el tratamiento 6 el que obtuvo el mayor tonelaje con 156,08 TCH, y el de menor tonelaje el tratamiento 3 con 152,97 toneladas.

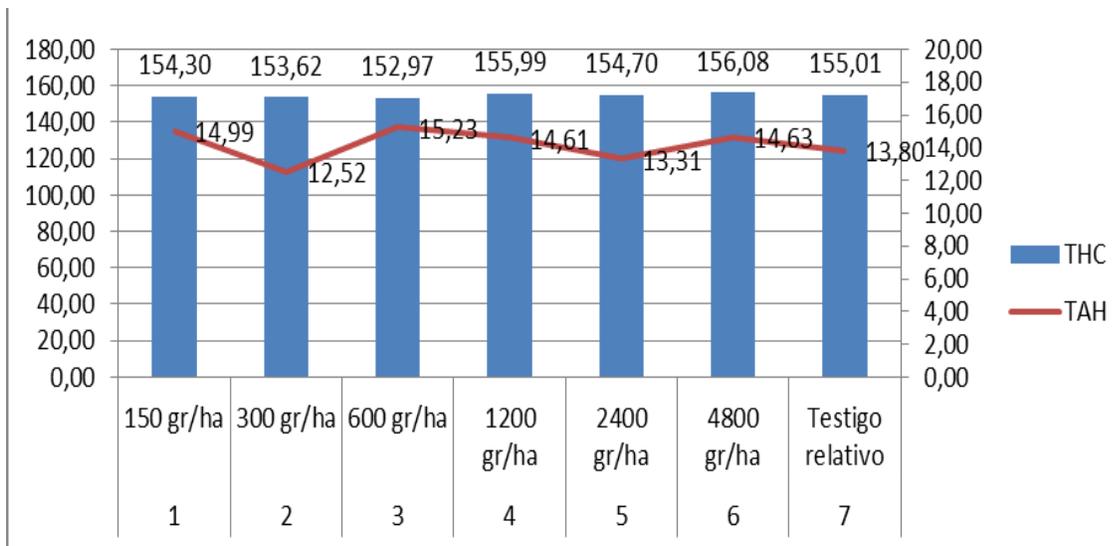


Figura 12: Toneladas de caña y azúcar por hectárea

En cuanto al análisis de la varianza para TCH y TAH, no se obtuvo significancia en ninguna de las dos variables ya que el valor de P es mayor a 0.05 (cuadro 15, cuadro 16)

Cuadro 15: Resumen del análisis de varianza de TCH

Cuadro de análisis de la Varianza					
F.V.	SC	gl	CM	F	P-valor
Modelo	32,03	6	5,34	1,76	0,1557
Tratamiento	32,03	6	5,34	1,76	0,1557
Error	63,56	21	3,03		
Total	95,59	27			

Cuadro 16: Resumen del análisis de varianza de TAH

Cuadro de análisis de la Varianza					
F.V.	SC	gl	CM	F	P-valor
Modelo	23,25	6	3,88	1,17	0,3584
Tratamiento	23,25	6	3,88	1,17	0,3584
Error	69,47	21	3,31		
Total	92,72	27			

2.8. CONCLUSIONES

La aplicación de distintos niveles de boro vía foliar no producen efecto sobre las variables de respuesta evaluadas, en el cultivo de caña de azúcar (*Saccharum spp*).

Se encontró que los niveles de boro dentro del tejido foliar no se ven influenciados por la aplicación de boro vía foliar y que tanto en el primer muestreo como en el segundo los niveles de boro se encuentran dentro del rango óptimo (10-50ppm).

2.9. RECOMENDACIONES

Para condiciones edáficas similares a donde se realizó la evaluación no se recomienda la aplicación de boro vía foliar, es recomendable encontrar áreas en donde el contenido de boro en el suelo sea igual a 0 ppm, esto para garantizar que el suelo no aporta nada de este nutriente a la planta.

Dar seguimiento a evaluaciones de aplicación de boro, realizando pruebas de dosis, fraccionamiento, y vía de aplicación, así mismo fuentes evaluadas.

2.10. BIBLIOGRAFÍAS

7. Anderson, DL; Bowen, JE. 1994. Nutrición de la caña de azúcar. Quito, Ecuador, Instituto de la Potasa y el Fósforo. 40 p
8. AZASGUA (Asociación de Azucareros de Guatemala, GT). 1997. Informe anual 1,996/1,997. Guatemala. 78 p.
9. _____. 2013. Área cultivada (en línea). Guatemala. Consultado 24 mayo 2013. Disponible en <http://www.azucar.com.gt/economia3.html>
10. Báscones Merino, E. 2004. Análisis de suelo y consejos de abonado. Diputación de Valladolid, España, Diputación de Valladolid. 66 p.
11. Berthc Hernández, F. 1995. La fertilidad de los suelos y su manejo. San José, Costa Rica, ACCS (Asociación de Suelos de Costa Rica y Canadá). p. 28-34.
12. CENGICANA (Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar, GT). 1994. Estudio semidetallado de suelos de la zona cañera del sur de Guatemala. Guatemala. 242 p.
13. _____. 2013. Mapa de la zona cañera (en línea). Guatemala. Consultado 25 jun 2013. Disponible en <http://cengicana.org/es/mapas-zona-canera>
14. Cooke, GW. 1981. Fertilizantes y sus usos. México, Continental. 180 p.
15. Flores, S. 1976. Manual de caña de azúcar. Guatemala, Instituto Técnico de Capacitación y Productividad. 172 p.
16. Gutiérrez L, HL. 2000. Evaluación del efecto de niveles de nitrógeno y gallinaza sobre el rendimiento de grano en dos cultivares de maíz (*Zea mays* L.), en la aldea

- Las Trojes, Amatitlán. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 68 p.
17. Ibañez, J. 2007. Biodisponibilidad de los nutrientes por las plantas, pH. del suelo (en línea). Consultado 26 mar. 2013. Disponible en: <http://www.madrimasd.org/blogs/universo>
18. López F, Y. 1992. Funciones e interacciones de los elementos menores en plantas y suelos. In Actualidad y futuro de los micronutrientes en la agricultura. Palmira, Colombia, Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, Comité Regional del Valle. p. 1-22.
19. Malavé, A; Carrero, P. 2007. Desempeño funcional del boro en las plantas. Venezuela, Universidad de Oriente / Instituto Venezolano Andino de Investigaciones Químicas. p. 2-3.
20. Malavolta, E. 1990. Micronutrientes en la fertilización de la caña de azúcar. In Seminario actualidad y futuro de los micronutrientes en la agricultura (1990, CO). Memorias. Palmira, Colombia, Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. p. 293-332.
21. Murillo, R; Piedra, G; León, R. 2012 Absorción de nutrientes a través de la hoja. Uniciencia, Costa Rica. 232 p. Consultado 3 abr 2014. Disponible en <http://www.revistas.una.ac.cr/index.php/uniciencia/search/advancedResults>
22. Orozco, H; Queme, L; Castro, O; Catalán, M. 2004. Catálogo de variedades promisorias de caña de azúcar de la agroindustria azucarera guatemalteca. Guatemala, CENGICANA. 40 p.

23. Parra, MA; Fernández, R; Navarro, C; Arquero, O. 2002. Los suelos y la fertilización del olivar cultivado en zonas calcáreas. Madrid, España, Junta de Andalucía, Consejería de Agricultura y Pesca. p. 37.
24. Pérez, O; Ufer, C; Azañón, V; Solares, E. 2008. Estrategias para la optimización de los fertilizantes nitrogenados en el cultivo de caña de azúcar en Guatemala (diapositivas). Escuintla, Guatemala, CENGICANÑA. 25 diapositivas.
25. Quintero D, R. 2008. Efectos de la aplicación de elementos menores en caña de azúcar en suelos del valle del río Cauca (en línea). Colombia. Consultado 2 abr 2013. Disponible en http://www.tecnicana.org/pdf/2008/tec_v12_no20_2008_p18-26.pdf
26. Quintero, DR. 1999. Extracción de nutrimentos por la caña de azúcar. Carta Trimestral (Colombia), 21(2):4-7.
27. Sancho, H. 2000. Curvas de absorción de nutrimentos: importancia y su uso en los programas de fertilización. Informaciones Agronómicas no. 6:26.
28. Saravia Gómez, LF. 1983. Efecto del nitrógeno, fósforo y potasio en el cultivo de la caña de azúcar sobre la serie de suelos Guacalate franco en Guatemala; informe preliminar. Guatemala, Asociación de Azucareros de Guatemala, Depto. Técnico. 85 p.
29. Subirós Ruiz, F. 1993. Cultivo de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*). morfología de la caña. San José, Costa Rica, Editorial Universitaria. p. 11-23.
30. Tisdale, SL; Nelson, WL. 1988. Fertilidad de los suelos y fertilizantes. México, UTEHA. 760 p

2.11. APENDICES



Figura 13: Elaboración de calles divisorias dentro del área experimental



Figura 14: aplicación de la mezcla física N-P-K-S



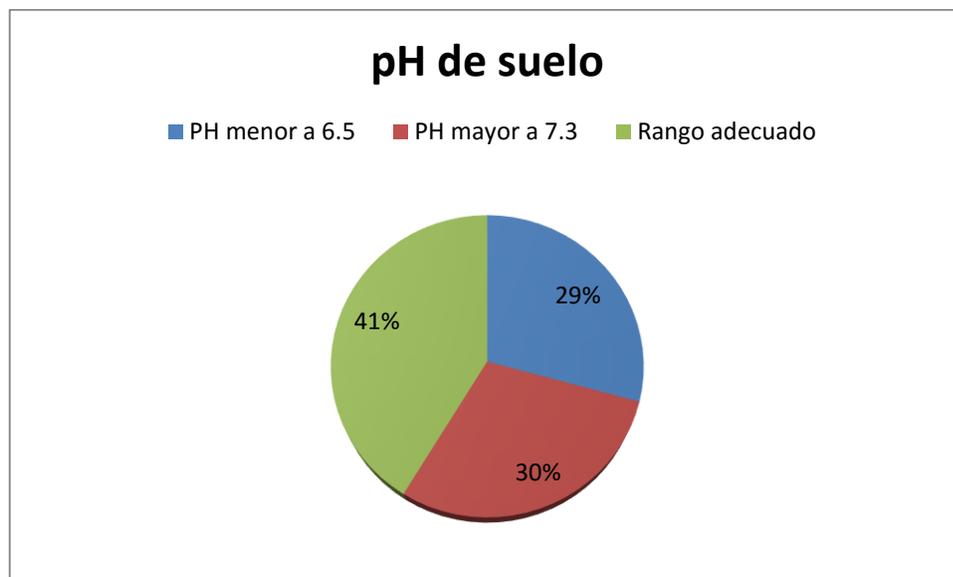
Figura 15: Zanjeado a 10 cm del surco para la aplicación de la fertilización con N-P-K-S.



Figura 16: Realización del muestreo foliar previo a la aplicación

Cuadro 17: Porcentaje de rangos de pH en el suelo.

	muestras	porcentaje
Rango de pH total	3337	100
PH menor a 6.5	976	29.25
PH mayor a 7.3	983	29.46
Rango adecuado	1378	41.29

**Figura 17: Porcentaje de rangos de pH en suelos en fincas de IMSA**

2.12. RECURSOS

2.12.1. Humano

Se cuenta con el apoyo de personal de campo, esto en actividades de aplicaciones foliares y al suelo, toma de datos población, análisis foliar, datos de altura, diámetros de tallos así como para el levantamiento del ensayo en la cosecha.

2.12.2. Material

Cinta métrica
 Rafia o pita
 vernier
 Computadora
 Fertilizantes (Nitrógeno, Fosforo y Potasio)
 Solubor como fuente de Boro (21%)
 Bombas de mochila
 Libreta de campo
 Análisis de suelo
 Croquis de ensayo
 Automóvil para transportarse
 Cubetas
 Probetas
 Adherente como coadyuvante
 Agua
 Balanza semianalítica

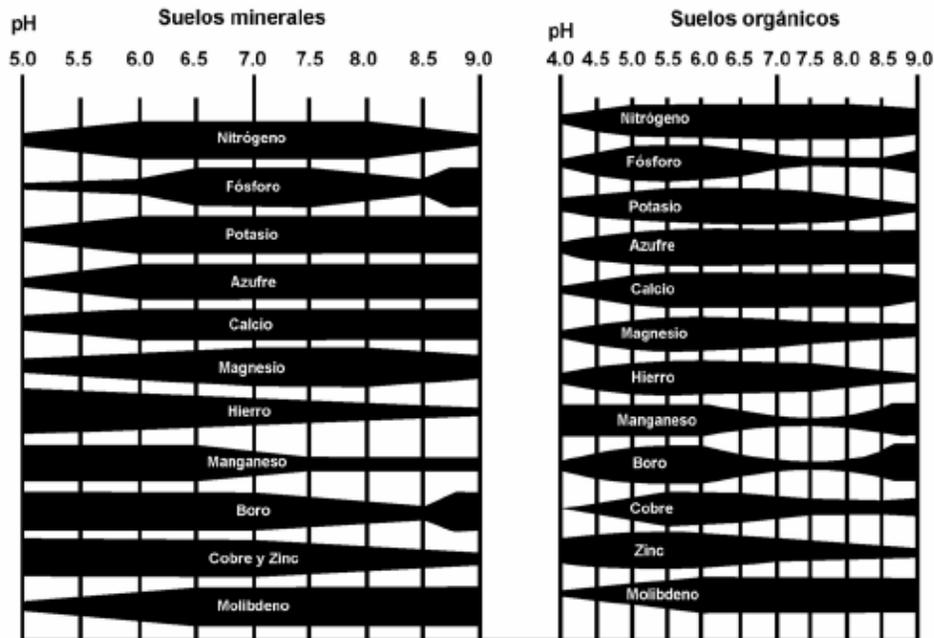


Figura 18: Diagrama de disponibilidad de nutrientes según pH

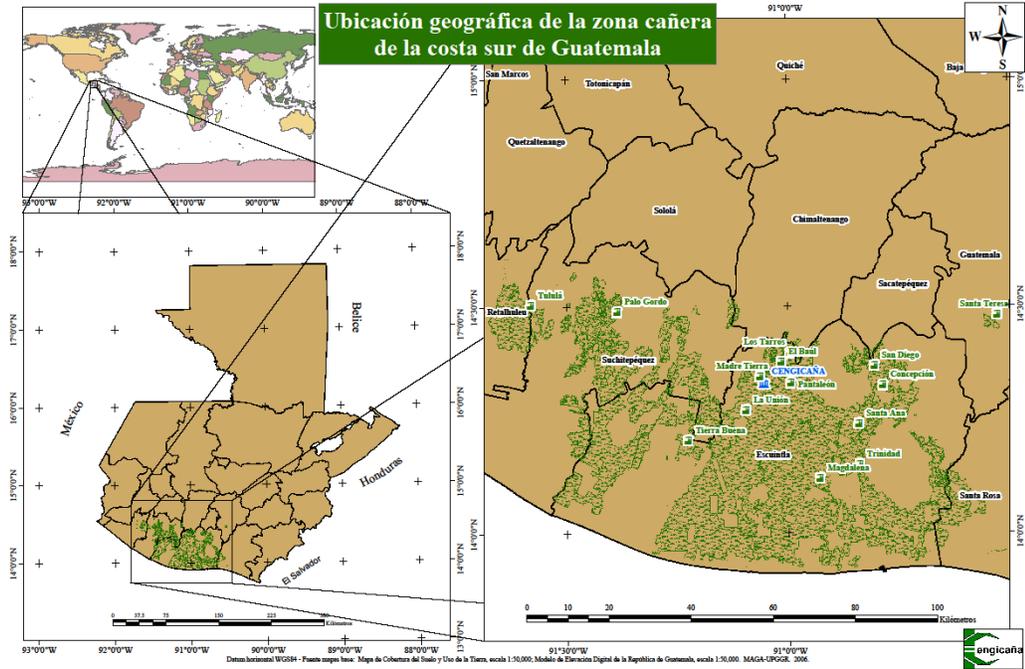


Figura 19: Ubicación geográfica de la zona cañera de la costa sur de (Leal, 1998) Guatemala (CENGICAÑA)



CAPÍTULO III

**SERVICIOS PRESTADOS AL ÁREA DE SUELOS Y FERTILIDAD DEL
DEPARTAMENTO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO AGRÍCOLA DEL INGENIO
MAGDALENA S.A**

3. SERVICIOS PRESTADOS AL ÁREA DE SUELOS Y FERTILIDAD DEL DEPARTAMENTO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO AGRÍCOLA DEL INGENIO MAGDALENA S.A.

3.1. PRESENTACIÓN

El presente informe contiene el resumen de los servicios prestados como parte del Ejercicio Profesional Supervisado de agronomía (EPSA), estos servicios fueron realizados en el área de suelos y fertilidad del departamento de investigación y desarrollo agrícola del ingenio magdalena, el trabajo se realizó entre los meses de febrero a noviembre del año 2013.

El área de suelos y fertilidad del departamento de investigación y desarrollo agrícola del ingenio magdalena tiene la tarea de generar información en cuanto a la fertilidad de los suelos productores de caña de azúcar (*Saccharum spp*), esto mediante investigación a nivel de campo. Los servicios trabajados se basan en el estudio de la fertilidad del suelo tomando en cuenta a los macronutrientes nitrógeno (N), fosforo (P) y potasio (K) y micronutrientes principalmente boro (B), cobre (Cu), Manganeso (Mn) y Zinc (Zn). En la actualidad se cuenta con valiosa información en cuanto a respuesta del cultivo a la aplicación e N, P y K, pero existe mucha limitación en cuanto a la investigación y respuestas del cultivo de caña de azúcar a la aplicación de la mayoría de micronutrientes. Debido a la falta de información con respecto al efecto que provocan los micronutrientes en el cultivo de caña de azúcar, los trabajos realizados tienen la finalidad de probar dosis y vías de aplicación (al suelo o foliar) de los micronutrientes. La realización de investigaciones en cuanto al crecimiento y desarrollo radicular del cultivo de caña de azúcar, investigación en cuanto al efecto en el crecimiento y desarrollo de tallos.

Para la evaluación del crecimiento y desarrollo radicular se montaron estructuras llamadas rizotrones que permitan la observación de las raíces a lo largo de su crecimiento, evaluando de esta manera cual es el efecto de los micronutrientes aplicados. Y para evaluar crecimiento y desarrollo de tallos y producción de azúcar se montó un experimento

a nivel de campo, este con 64 parcelas (unidades experimentales), cada una compuesta por 4 surcos a distancia 1.8 m c/u y de 10 metros de largo, para un total de 72 m².

3.2. ÁREA DE INFLUENCIA

3.2.1. Finca San Patricio

La evaluación del desarrollo radicular se llevó a cabo en el área de Biomag, ubicado en la finca San Patricio, esta se localiza en el km 99.5 carretera a La Gomera, Escuintla, a 3 kilómetros en dirección al ingenio Magdalena. Sus coordenadas son 14°08'24.12"N y 90°58'00.45", a una elevación de 73 metros sobre el nivel del mar.

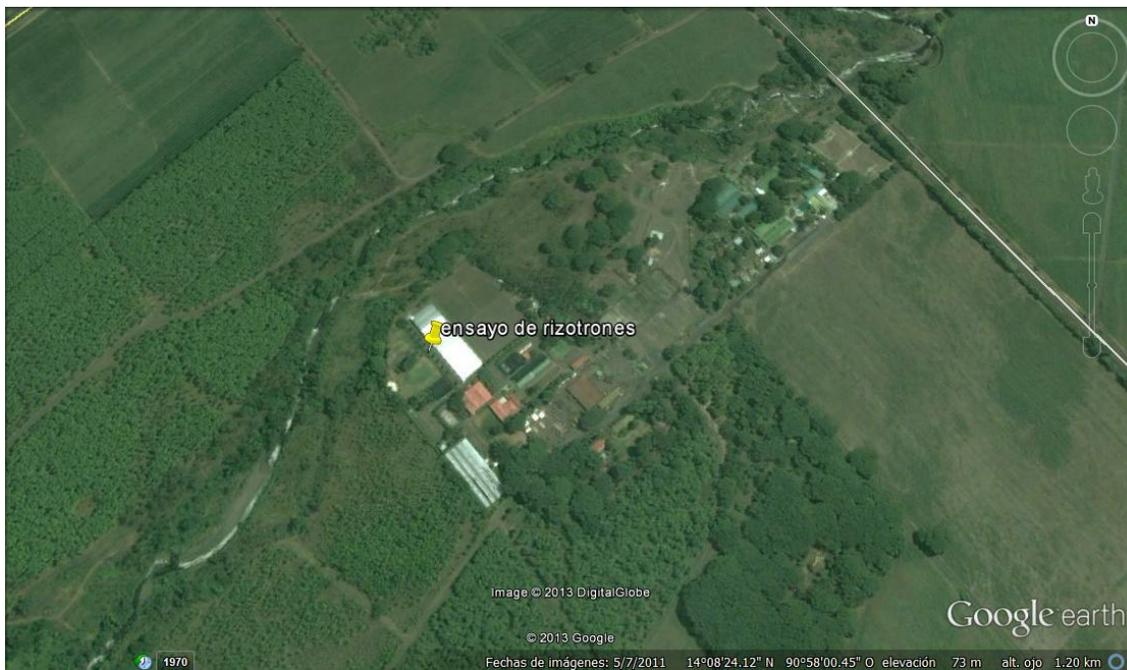


Figura 20: Ubicación geográfica del área de trabajo de la evaluación del crecimiento y desarrollo radicular en el cultivo de caña de azúcar.

3.2.2. Colindancias

La finca San patricio colinda al norte con la calle que lleva al parcelamiento los ángeles, al norte con finca Santa Mónica, al este colinda con finca Quien Sabe, y al oeste colinda con la carretera principal que lleva a la Gomera, Escuintla.

3.2.3. Finca Botón Blanco

Catalogado como Bosque húmedo subtropical Cálido, se encuentra ubicada en el municipio de San Jose, Masagua, Colinda al norte con texcuaco, al sur con San Adalberto, su colindancia al Oeste es finca Dinamarca y al este Finca el Tesoro, su ruta de acceso es CA-9. La finca se encuentra ubicada a una altura de 20 msnm.

El uso apropiado de estos terrenos debería ser de manejo forestal, son suelos que presentan buen drenaje, con una coloración de café oscuro a café muy oscuro, su textura es franca o franca-arenosa, además posee poco riesgo a erosión.

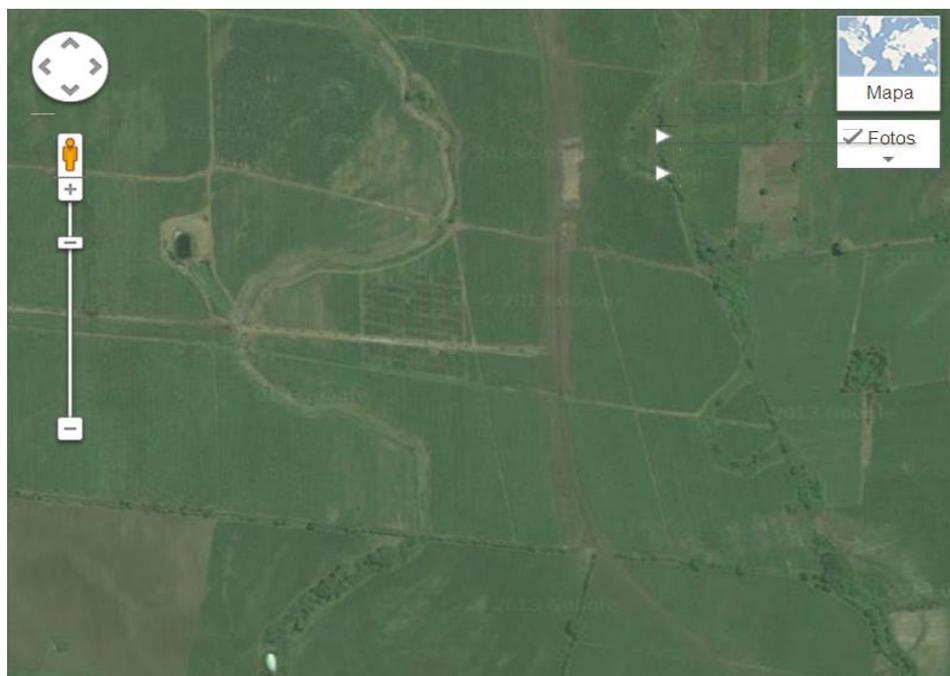


Figura 21: Ubicación geográfica de la evaluación de Micronutrientes y compost en finca botón blanco.

3.3. OBJETIVO GENERAL

- Contribuir con el área de suelos y fertilidad del departamento de investigación y desarrollo agrícola del ingenio Magdalena en la evaluación de micronutrientes en el cultivo de caña de azúcar.

3.4. SERVICIO 1: EVALUACIÓN DE LA RESPUESTA DEL SISTEMA RADICULAR DEL CULTIVO DE CAÑA DE AZÚCAR A LA APLICACIÓN DE MICRONUTRIENTES, ALGAS MARINAS Y YESO, INGENIO MAGDALENA, LA DEMOCRACIA, ESCUINTLA, GUATEMALA, C.A.

3.4.1. PRESENTACIÓN

El sistema radicular del cultivo de caña de azúcar (*Saccharum ssp*), se ve limitado por varios factores y condiciones que afectan su crecimiento y desarrollo, influenciado principalmente por factores físicos y químicos. Entre los factores químicos que interfieren en el crecimiento y desarrollo radicular se encuentran: el pH del suelo, concentración de nutrientes en el suelo, materia orgánica y salinidad. Entre los factores físicos se pueden mencionar la pobre aireación, exceso de agua y resistencia mecánica del suelo, (Villegas F, 2,010).

Los factores anteriormente mencionados han tenido un impacto negativamente importante en el desarrollo y crecimiento del sistema radicular de la caña de azúcar, sumándole a ello efecto de algunos agroquímicos utilizados durante el manejo del cultivo.

3.4.2. OBJETIVO GENERAL

- Evaluar la respuesta del sistema radicular del cultivo de caña de azúcar a la aplicación de micronutrientes, algas marinas y yeso.

3.4.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar el efecto provocado en el sistema radical de caña de azúcar con las aplicaciones de boro, zinc y manganeso y la mezcla (B+Zn+Mn) en el suelo virgen, suelo laborado y sustrato peatmoss.

3.4.4. METODOLOGÍA

3.4.4.1. Armado de los rizotrones:

3.4.4.1.1. Preparación de materiales

- Los rizotrones son estructuras dentro de las cuales se puede contener y observar el crecimiento y desarrollo de las raíces de las plantas simulando las condiciones de campo, en este caso están elaborados de tubo pvc partidos a la mitad, los pasos para su armado o ensamble son los siguientes:
- Preparación de los segmentos de tubo pvc a la mitad (tubo de 10plg. de diámetro, y largo de 1m).
- Los rizotrones que llevan suelo se introdujeron a presión tanto en el suelo virgen como en suelo laborado (esto antes de ser armados). Mientras que los rizotrones que llevan peatmoss se llenaron del sustrato y luego se armaron.
- Elaboración de las piezas de madera (1m largo x ancho 10cm) para el marco que sostiene el acrílico cristal.

3.4.4.2. Siembra

La siembra se realizó colocando dos toletes (nudos) de caña de azúcar (Variedad CP731547) por cada rizotrón, a una profundidad de 5 cm. El objetivo de sembrar dos toletes era garantizar que por lo menos una yema brotara adecuadamente, para posteriormente dejar solo la que presente mejor vigor, eliminando la menos desarrollada.

Aplicación de los nutrientes.

3.4.4.3. Fertilización

La fertilización con Nitrógeno, Fosforo y Potasio se realizó de manera granular. La fertilización con Boro, Zinc y Manganese se aplicó en solución, al igual que las algas marinas. La aplicación de yeso se realizó en la superficie del rizotron.

Las dosis aplicadas en cada uno de los tratamientos (cuadro 18) muestran el detalle de los productos utilizados.

Cuadro 18: Descripción de las dosis aplicadas

ELEMENTO APLICADO	FUENTE UTILIZADA	DOSIS	ÁREA DEL RIZOTRON	EQUIVALENTE A APLICAR DE FUENTE
NITRÓGENO	UREA	80 Kg/ha	0.024	0.426 gr
FOSFORO	TRIPLE SÚPER FOSFATO	80 Kg/ha	0.024	0.426 gr
POTASIO	MURIATO DE POTASIO	120 Kg/ha	0.024	0.489 gr
BORO	SOLUBOR	3.5 Kg/ha	0.024	0.0084 gr
ZINC	SULFATO DE ZINC	10 Kg/ha	0.024	0.024 gr
MANGANESO	SULFATO DE MANGANESO	6 Kg/ha	0.024	0.0144 gr
ALGAS MARINAS	ALGAMAR PLUS	2.5 lts/ha	0.024	0.006 gr
YESO	SULFATO DE CALCIO	8 Tn/ha	0.024	17.45 gr

Fuente: propia

Cuadro 19: tratamientos evaluados

TRATAMIENTO	RIZOTÓN	APLICACIÓN
T1	Peatmoss 1.5m.	NPK-B-Zn
T2	Peatmoss 1.5m.	NPK-B-Zn-Algas Marinas
T3	Peatmoss 1.5m.	NPK
T4	Peatmoss 1.5m.	NPK-YESO
T5	Peatmoss 1m	NPK-B-Zn- (Mn cuadruplicado)
T6	Peatmoss 1m	-----
T7	Virgen 1m	NPK-B
T8	Virgen 1m	NPK- Zn
T9	Virgen 1m	NPK-Mn
T10	Virgen 1m	NPK-B-Zn-Mn
T11	Trabajado 1m	NPK-B
T12	Trabajado 1m	NPK- Zn
T13	Trabajado 1m	NPK-Mn
T14	Trabajado 1m	NPK-B-Zn-Mn

Nota: todos los rizotrones fueron aplicados con N,P,K excepto el tratamiento seis, al cual no se le aplico nada.

3.4.5. Variables de respuesta

3.4.5.1. Profundidad de raíz

La profundidad de raíces se midió con la ayuda de una cinta métrica y una regla de 30 cm, este procedimiento se realizó abriendo las dos partes de los rizotrones, permitiendo de la observación del crecimiento de las raíces a través del acrílico cristal.

3.4.5.2. Altura

La variable altura se midió con una cinta métrica, tomando como arranque la base de la planta (ras del sustrato o suelo) llegando a medir hasta la hoja más larga.

3.4.5.3. Peso de raíces

El peso de raíces se determinó tanto en peso fresco como peso seco, para la determinación del peso fresco se lavaron las raíces y se secaron a temperatura ambiente, mientras que el peso seco se determinó en luego de someter las raíces a secado al horno. Peso de tallos y follaje. Al igual que las raíces, el peso de tallos y follaje se determinó tanto en fresco como en seco.

3.4.6. RESULTADOS

Se realizaron cuatro muestreos de profundidad de raíces, los muestreos corresponden a los siguientes días después de la siembra de los toletes:

- Primer muestreo: 12 días después de la siembra
- Segundo muestreo: 21 días después de la siembra
- Tercer muestreo: 34 días después de la siembra
- Cuarto muestreo: 42 días después de la siembra
- Quinto muestro: 65 días después de la siembra

3.4.6.1. Primer muestreo (12 días después de la siembra)

En este muestreo no se observó mayor crecimiento y desarrollo del sistema radicular, esto se debe principalmente a que el esqueje posee reserva de azúcares y nutrientes que alimentan a la planta en la etapa de brotación hasta cuando inicie su proceso de fotosíntesis.

En el muestro a través del acrílico cristal de los rizotrones se observaron raíces en los tratamientos del nueve al trece, en los demás, aunque existían no eran visibles ante el acrílico cristal (Figura 22).

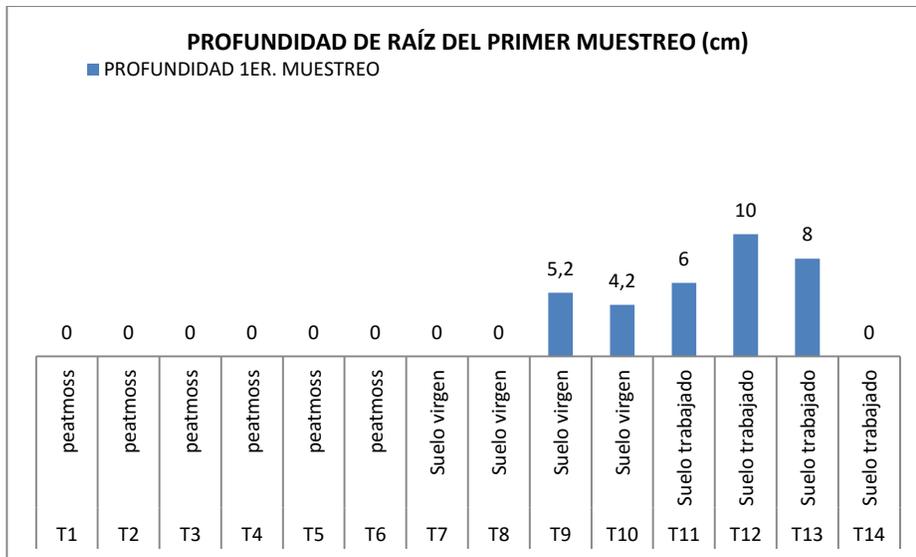


Figura 22: Profundidad de raíces a los doce días después de la siembra

3.4.6.2. Segundo muestreo (21 días después de la siembra)

En el segundo muestreo, en comparación al primer muestro se puede observar el inicio del desarrollo radicular en todos los tratamientos, caracterizándose con una buena ramificación de raíces los rizotrones con peatmoss, mientras que los rizotrones que contenían suelo presentaban un sistema radicular menos ramificado y en algunos casos con una o dos raíces alcanzaban profundidad superior a las demás (figura 23).



Figura 23: Profundidad de raíces a los 21 días después de la siembra

3.4.6.3. Tercer muestreo (34 días después de la siembra)

Se observó que los cuatro rizotrones de 1.5 m de altura que poseen peatmoos presentan sistemas radiculares bien ramificados en comparación con los rizotrones que contienen suelo virgen y suelo trabajado. Cabe mencionar que se observa como los tratamientos T8 (NPK + B) y T9 (NPK+ Zn) presentan algunas raíces que alcanzan profundidades de 30.5 cm. Por lo general en los rizotrones con suelo tanto virgen como laborado se logra observar que una o dos raíces son las que alcanzan la profundidad máxima (figura 24), las demás raíces están limitadas en cuando a la profundidad alcanzada.

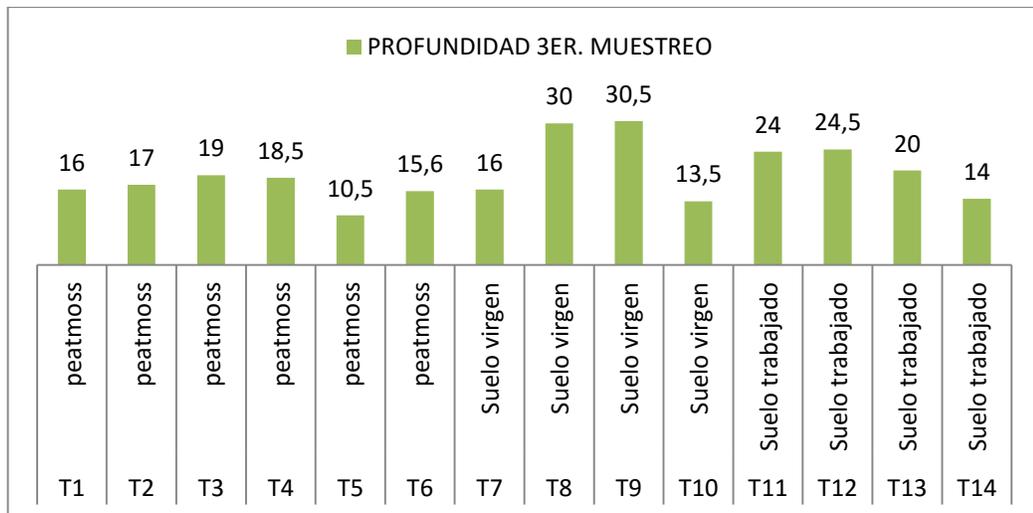


Figura 24: Profundidad de raíces a los 35 días después de la siembra

3.4.6.4. Cuarto muestreo (42 días después de la siembra)

En este muestreo se inicia una marcada diferencia en la profundidad y desarrollo de las raíces que se encuentran en el medio de peatmoss en comparación de los que se encuentran en suelos vírgenes y suelos laborados, observando que el desarrollo radicular presente en suelo virgen y suelo laborado tienen similar profundidad (figura 25).

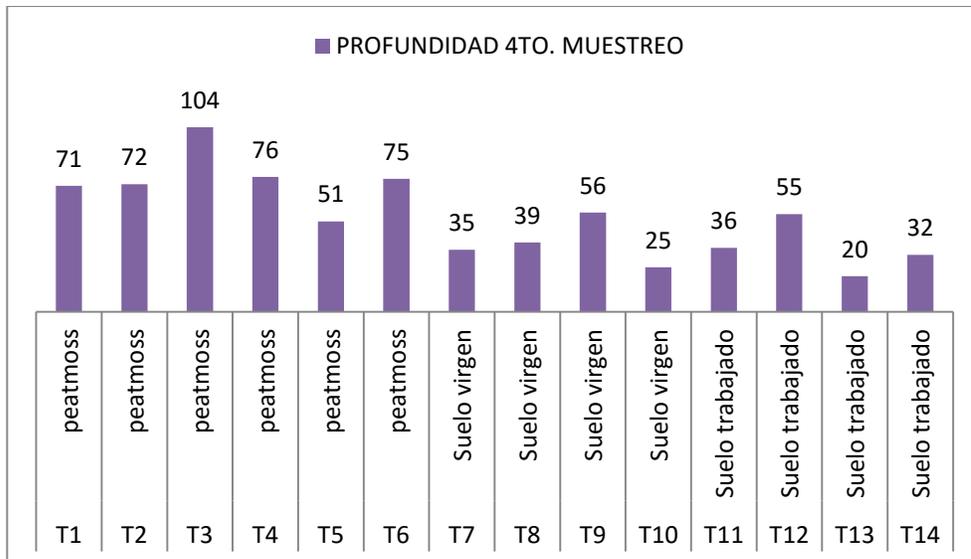


Figura 25: Profundidad de raíces a los 42 días después de la siembra

3.4.6.5. Quinto muestreo (65 días después de la siembra)

Al quinto muestreo se observa que casi todos los sistemas radiculares de los tratamientos con peatmoss han alcanzado la profundidad límite del rizotron. En cuanto a los suelos vírgenes, el T9 (NPK + Mn) fue el único que alcanza 1m. de profundidad. De los tratamientos con suelo Laborado, el T12 (NPK + Zn) fue el que presentó la mayor profundidad con 73 cm (figura 26).

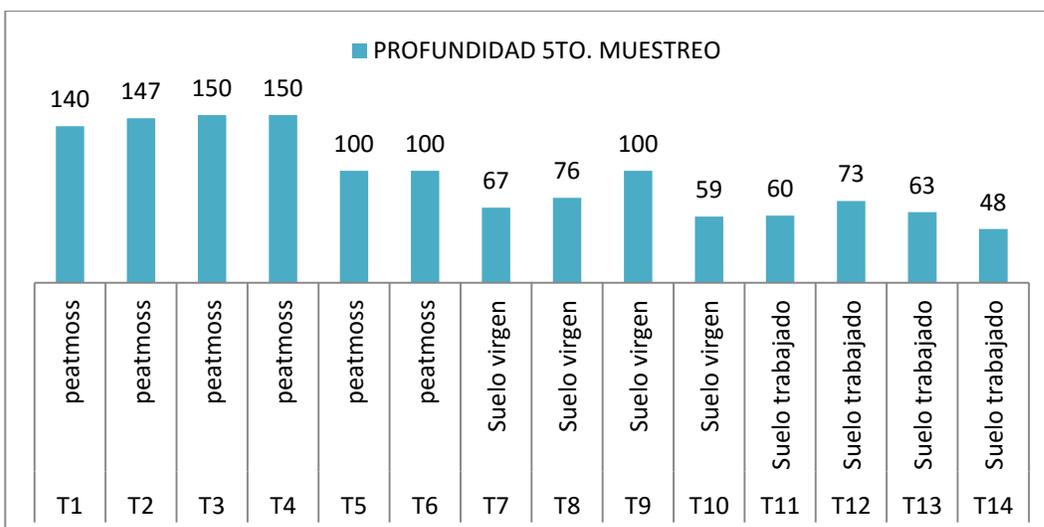


Figura 26: Profundidad de raíces a los 65 días después de la siembra

3.4.6.6. Muestreo final

Cuadro 20: Datos correspondientes a la cosecha, 101 días después de la siembra

TRATAMIENTO	LONGITUD DE RAICES (cm)	ALTURA DEL FOLLAJE (cm)	No. TALLOS	No. ENTRENUDO DEL TALLO PRIMARIO	PESO DE RAIZ EN FRESCO (gr)	PESO DE TALLO EN FRESCO (gr)	PESO DE FOLLAJE EN FRESCO (gr)
T1	160	195	5	5	428.40	287.30	507.20
T2	145	106	4	6	217.10	183.80	401.60
T3	162	224	6	6	405.70	382.30	632.20
T4	155	220	4	6	305.10	433.20	521.40
T5	100	232	5	5	55.60	18.70	141.70
T6	100	132	6	0	307.50	335.60	523.10
T7	110	163	2	7	99.70	58.30	109.80
T8	103	215	6	8	334.50	234.00	533.40
T9	118	170	2	8	120.30	61.70	120.50
T10	105	141	5	5	117.90	48.30	150.30
T11	110	114	3	4	82.30	9.50	87.10
T12	114	180	6	5	171.90	76.40	328.90
T13	113	180	7	6	135.70	82.20	338.00
T14	108	109	3	5	50.70	14.00	78.10

En cuanto a las variables medidas, se observa que la longitud de raíz en todos los rizotrones alcanzo la profundidad límite de la estructura, con excepción del T2 que llego a 145cm. De profundidad (figura 27), en general el comportamiento en de las demás variables está estrechamente relacionado con el crecimiento y desarrollo radicular. Como es notorio en la variable altura de follaje (figura 28), peso de tallo en fresco (Figura 29) y peso de follaje en fresco (figura 30).

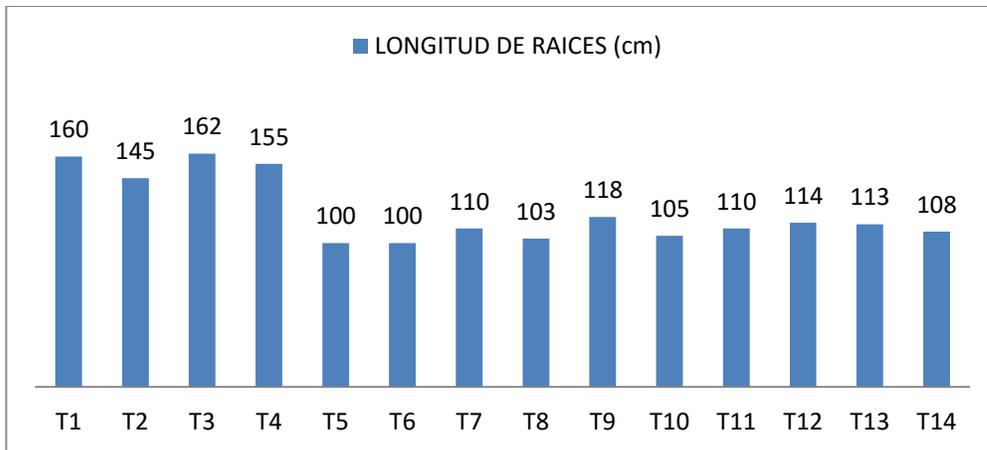


Figura 27: Longitud de raíces

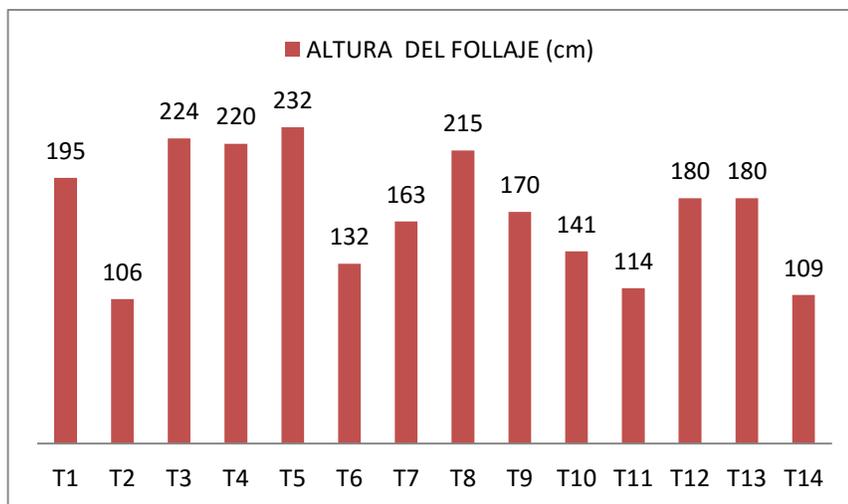


Figura 28: Altura del follaje

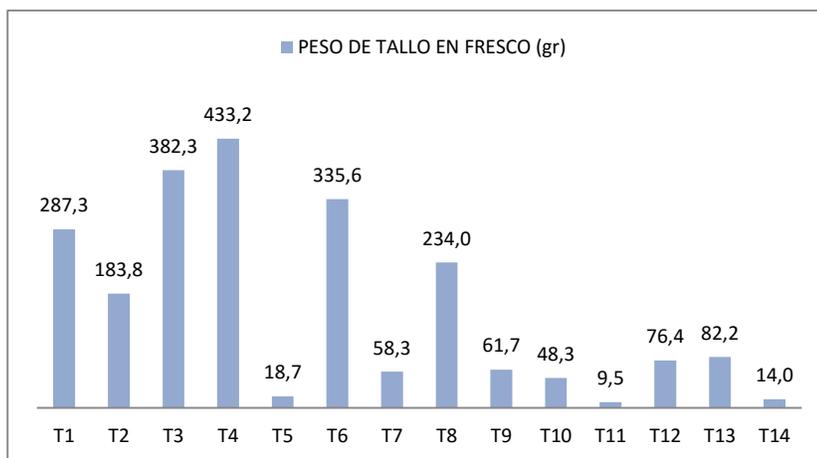


Figura 29: Peso de tallo en fresco (gr)

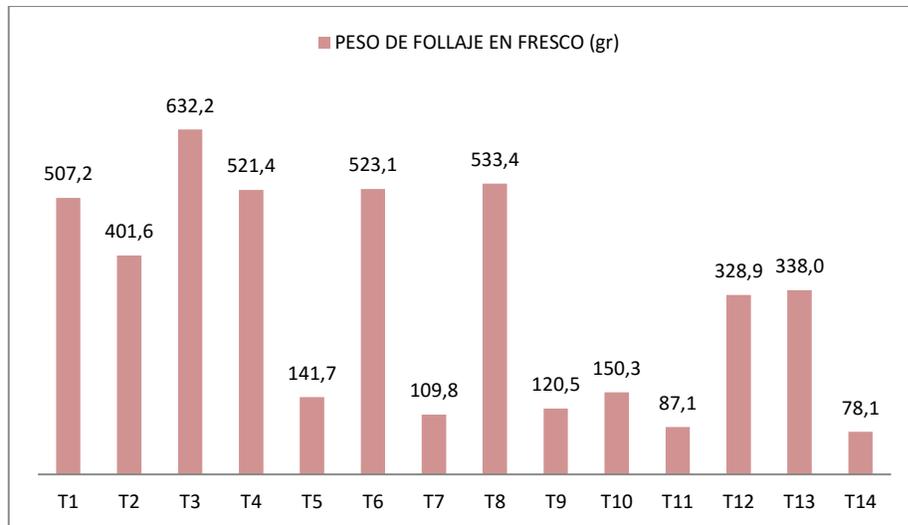


Figura 30: Peso de follaje en fresco (gr)

3.4.6.7. Comparaciones entre tratamientos aplicados

Rizotrones con peatmoss de 1.5 metros de altura

Se observa un comportamiento muy similar en el tratamiento uno, tres y cuatro, no así en el tratamiento dos (NPK-B-Zn-Algas Marinas) que posee una longitud de raíz de 145cm, 17 cm por debajo del tratamiento tres (NPK). (Figura 31).



Figura 31: Muestra de raíces perteneciente a los tratamientos en rizotrones con peatmoos de 1.5 metros de largo

3.4.6.8. Rizotrones con peatmoss de 1 metro de altura

Estos están comprendidos por los tratamientos cinco y seis, los cuales poseen una longitud de raíz de 100 cm. (Figura 32), acá se observó que el tratamiento seis sin aplicación alguna (lado izquierdo), presenta mayor desarrollo que el tratamiento número cinco aplicado con Nitrógeno, fosforo, potasio, boro, zinc y manganeso.



Figura 32: Muestra de raíces perteneciente a los tratamientos en rizotrones con peatmoss de 1 metro de largo

3.4.6.9. Comparaciones de los tratamiento aplicados en suelo virgen

Acá se comparan los tratamientos aplicados en suelo virgen, evaluando si existe diferencia entre las variables longitud de raíz y peso en gramos. En ello se puede observar que la longitud de raíz tiene un comportamiento muy semejante en todos los tratamientos aplicados, pero aun así se logra observar que el T9 aplicado con Manganeso tiene la mayor longitud (118cm) y que el T8 aplicado con Zinc tiene la menor longitud con 103 cm (figura 33).

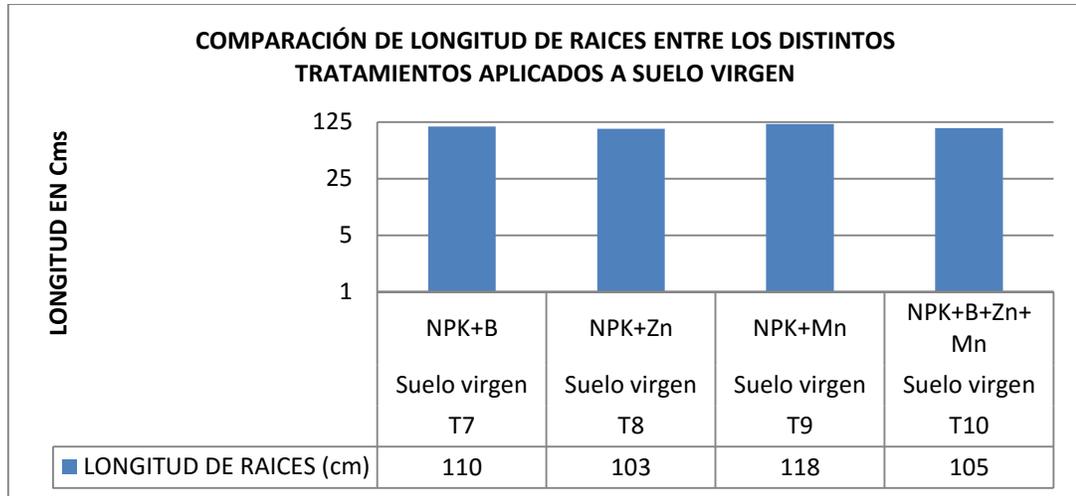


Figura 33: Comparación de longitud de raíces entre tratamientos aplicados a suelo virgen

En cuanto a los pesos, el T8 es el mayor con 334.50 gramos es como respuesta a que tal vez no tiene la mayor profundidad, pero si posee un sistema radicular bien desarrollado, el cual cuenta con raíces saludables. De igual manera es notable que el desarrollo radicular que presento el menor peso es el T7 aplicado con Boro (figura 34).

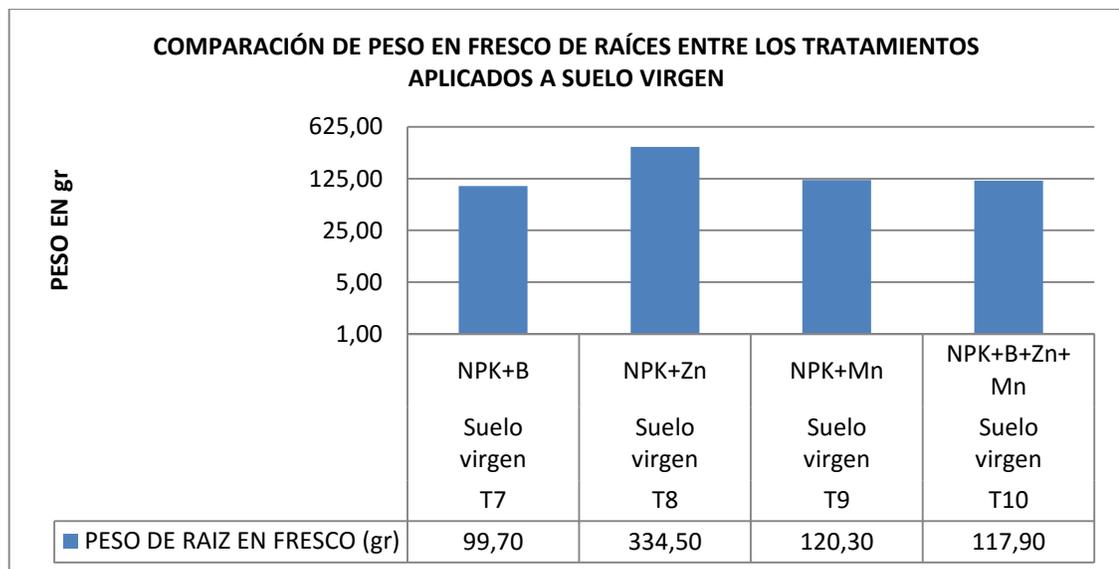


Figura 34: Comparación de peso en fresco de raíces entre los tratamientos aplicados a suelo virgen

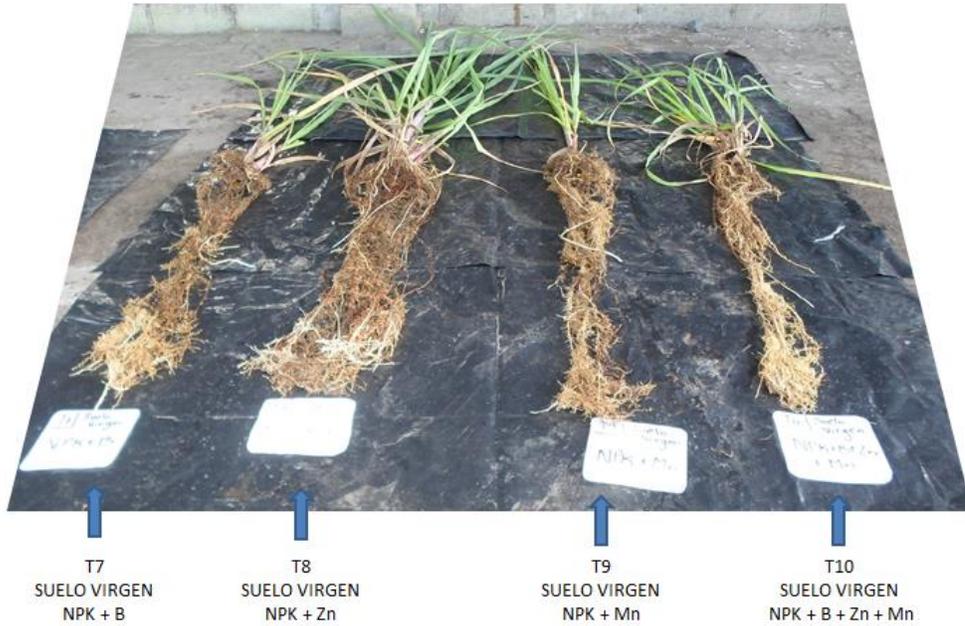


Figura 35: Comparación de tratamientos aplicados a suelo virgen

3.4.6.10. Comparaciones de los tratamientos aplicados en suelo laborado

En cuanto a la longitud de raíces como respuesta a aplicación de los tratamientos, se observa una homogeneidad en las longitudes alcanzadas por los sistemas radiculares siendo de mayor longitud el T12 aplicado con zinc (114cm) y de menor longitud el T14 aplicado con Manganeso (108 cm), (figura 36).

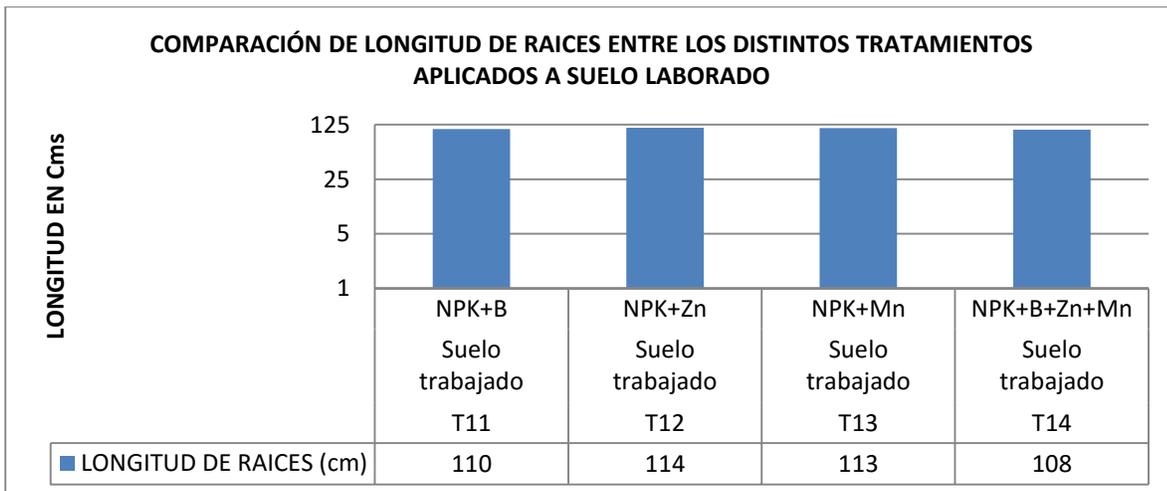


Figura 36: Comparación de longitud de raíces entre los tratamientos aplicados a suelo laborado

Semejante a lo obtenido en suelo virgen, todos los tratamientos aplicados en suelos laborados presentan profundidades de raíz no muy variables, pero si varían en cuanto a su peso, esto debido a que el crecimiento y desarrollo si está afectado por los tratamientos aplicados. Teniendo alcanzando mayor peso el T12 aplicado con Zinc (171.90 gr), seguido por el T13 aplicado con Manganeseo (135.70gr), siendo el T14 aplicado con la combinación de Boro, Zinc y Manganeseo el de menor peso 50.70gr (figura 37 y 38).

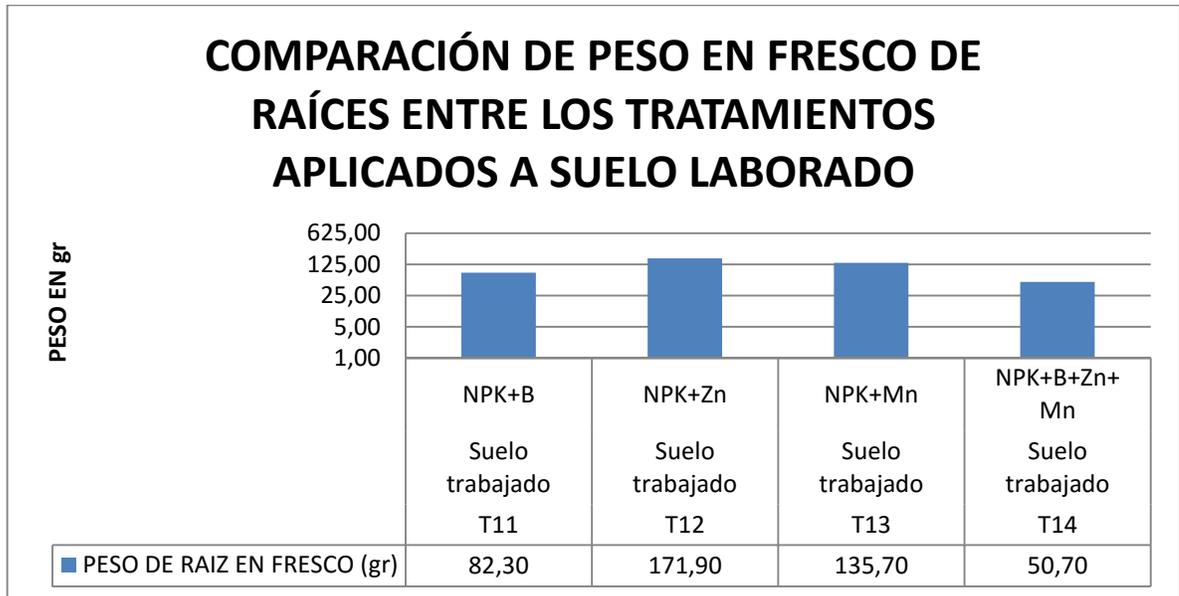


Figura 37: Comparación de peso en fresco de raíces entre los tratamientos aplicados a suelo laborado

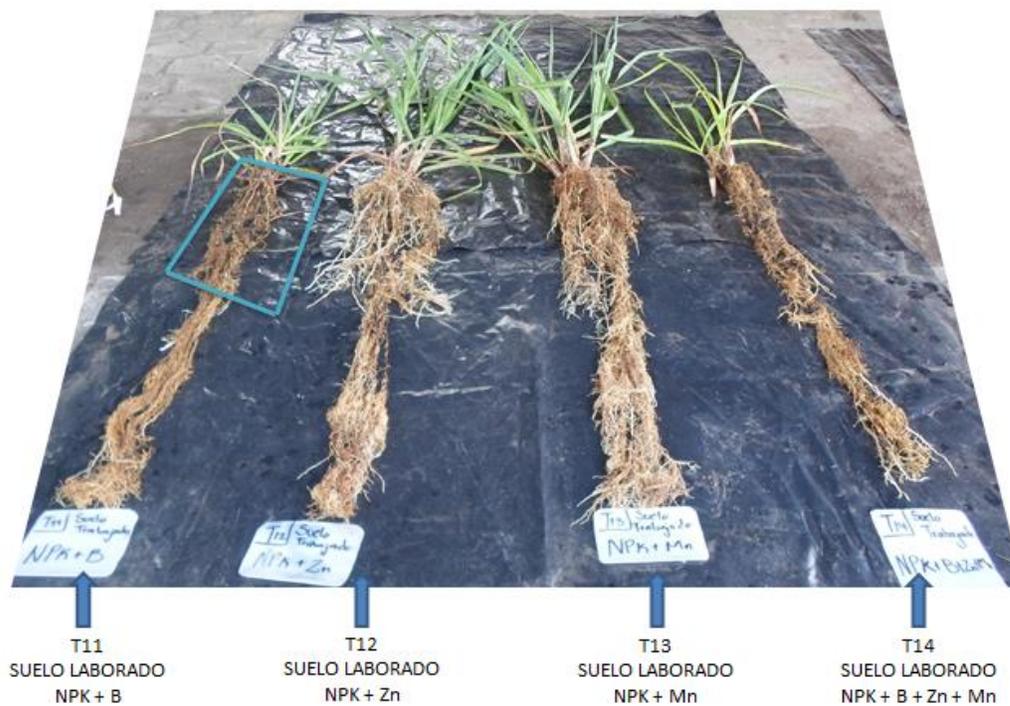


Figura 38: Comparación de los tratamientos aplicados en suelo laborado

Cuadro 21: Pesos en seco de los tratamientos

TRATAMIENTO	PESO SECO (gr)		
	RAÍZ	TALLO	FOLLAJE
T1	67.5	47.5	113.5
T2	31.5	29.5	78
T3	56	60	129.5
T4	48.5	69.5	94.5
T5	8	3.5	27
T6	30	52	98.5
T7	14.7	13	22
T8	69	38.5	119
T9	23	12	24.1
T10	18	7.5	30
T11	12.1	2.5	17.4
T12	30	12.5	62
T13	30	12.5	68
T14	7.5	3.5	15.6

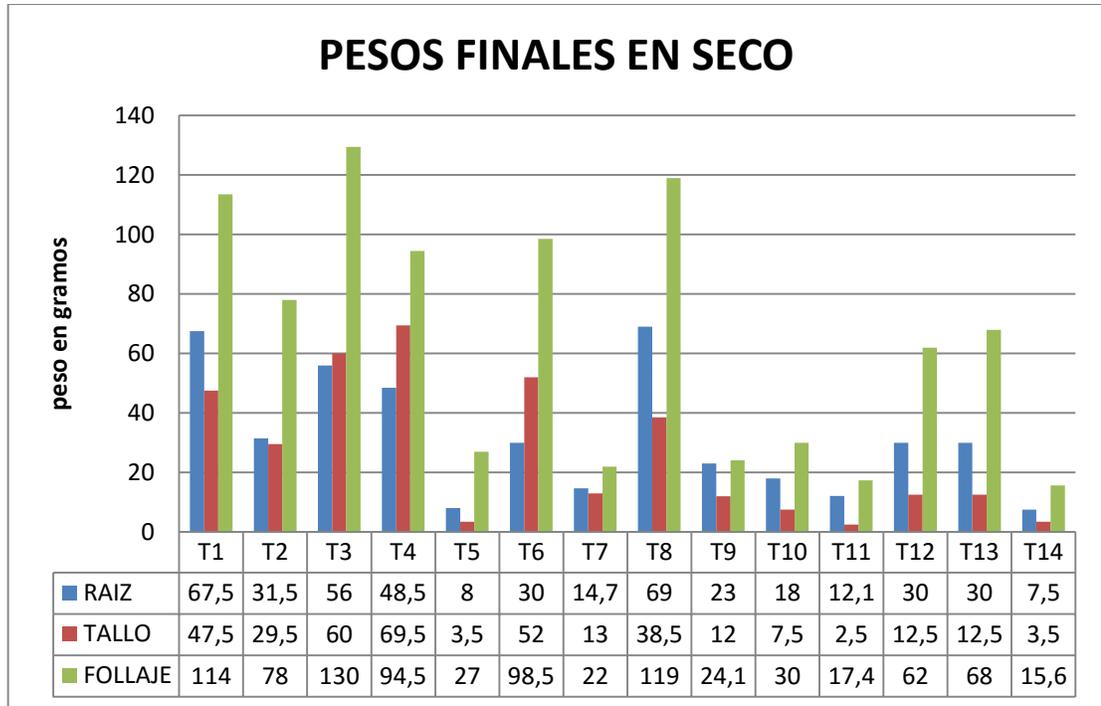


Figura 39: Peso en seco de raíz, tallo y follaje de la evaluación.

Cuadro 22: Resultado de suelo virgen y laborado utilizados en la evaluación, (fosforo analizado con carolina del norte, *trazas.)

IDENTIFICACION		pH	$\mu\text{S/cm}$ C.E	ppm						Meq/100 gr					%			
				H ₂ O	P	Cu	Zn	Fe	Mn	B	S	CICe	CIC	Ca	Mg	Na	K	SB
RANGO ADECUADO		6-6.5		12-16	2-4	4-6	10-15	10-15	0.5-0.8	20-30		20-25	4-8	1.5-2	---	0.27-0.38	75-90	4-5
M-23	SUELO VIRGEN	8.7	797.5	7.76	0.50	0.50	0.10	80.00	0.05	*	27.52	12.86	16.72	9.66	0.70	0.44	>100	1.55
M-24	SUELO LABORADO	7.6	246.0	21.68	3.50	2.00	100.00	28.50	0.45	*	8.81	11.90	4.74	3.62	0.28	0.17	74.02	1.78

3.4.6.11. Condiciones del suelo virgen

Posee un pH de 8.7, el cual se encuentra fuera del rango adecuado para la producción agrícola, en cuanto a los nutrientes analizados, el fosforo (P), cobre (Cu), zinc (Zn), hierro y Boro (B) se encuentran por debajo de los niveles adecuados. Mientras que manganeso (Mn), calcio (Ca), magnesio (Mg) y potasio (K) se considera que están dentro y sobre los rangos adecuados.

3.4.6.12. Condiciones del suelo laborado

Posee un pH de 7.6, el cual se encuentra fuera del rango adecuado para la producción del cultivo de caña de azúcar (*Saccharum spp*). En cuanto a los nutrientes analizados, el fosforo (P), cobre (Cu), hierro (Fe), manganeso (Mn), calcio (Ca) y Magnesio se encuentran dentro y por encima del rango adecuado, mientras que el zinc (Zn), boro (B) y potasio (K) se encuentran por debajo del rango adecuado.

3.4.6.13. Resultado de análisis químico del laboratorio de peatmoss

Cuadro 23: Análisis totales

IDENT	pH	mS /cm C.E.	%				Ppm					%		C : N
			P	K	Ca	Mg	Cu	Zn	Fe	Mn	Na	C.O	NT	
M-25	6.1	1585	0.06	0.69	1.19	0.39	15	65	875	50	450	34.75	0.69	50.3 : 1

Nota: Hace referencia al aporte nutricional que en si pudiera hacer el peatmoss a la planta

Cuadro 24: Análisis de peatmoss extraídos con una solución acida

Identificación	ppm		Meq/100gr		Ppm			
	P	K	Ca	Mg	Cu	Zn	Fe	Mn
RANGO MEDIO	12-16	120-150	6-8	1.5-2.5	2-4	4-6	10-15	10-15
M-25	32.14	130	80.11	4.27	1.00	7.50	20.00	11.50

Nota: Hace referencia a la composición total del material del que está hecho el sustrato.

Cuadro 25: Resultados químicos de laboratorio, incluyendo raíz, tallo y hojas

IDENTIFICACION		%						Ppm						PESO
		N	P	K	Ca	Mg	S	Na	Cu	Zn	Fe	Mn	B	gr
RANGOS ACEPTABLES		2-2.6	0.18-0.3	1.1-1.8	0.2-0.5	0.1-0.35	0.14-0.2	-----	6.0-20	20-200	76-300	100-1000	10.0-50	
M-1	T1 RAIZ	0.38	0.12	0.25	0.38	0.09	0.04	450	15	40	280	35	6.8	67.5
M-2	T1 TALLO	0.26	0.22	1.63	0.13	0.07	0.06	75	5	45	40	40	6.3	47.5
M-3	T1 HOJA	0.43	0.24	1.5	0.19	0.09	0.05	110	5	20	75	55	11.5	113.5
M-4	T2 RAIZ	0.43	0.12	0.25	0.31	0.08	0.03	450	10	40	265	30	9.5	31.5
M-5	T2 TALLO	0.35	0.26	2.06	0.13	0.09	0.05	120	5	90	40	40	6.2	29.5
M-6	T2 HOJA	0.73	0.28	1.06	0.25	0.1	0.05	130	5	15	55	65	14.3	78
M-7	T3 RAIZ	0.29	0.12	0.57	0.19	0.06	0.02	400	5	25	125	85	8.3	56
M-8	T3 TALLO	0.35	0.26	2	0.13	0.08	0.07	95	5	65	45	60	8.5	60
M-9	T3 HOJA	0.79	0.27	1.44	0.19	0.08	0.05	125	5	20	60	55	8.8	129.5
M-10	T4 RAIZ	0.3	0.1	0.55	0.31	0.09	0.05	400	5	35	225	35	11.4	48.5
M-11	T4 TALLO	0.33	0.22	2.25	0.13	0.09	0.21	85	5	65	35	65	7.9	69.5
M-12	T4 HOJA	0.68	0.25	2.25	0.19	0.08	0.14	145	5	20	45	65	12.4	94.5
M-13	T5 RAIZ	0.39	0.16	0.44	0.19	0.08	0.04	500	5	40	310	50	8.6	8
M-14	T5 TALLO	0.48	0.23	1.63	0.19	0.1	0.1	450	10	195	125	80	12.1	3.5
M-15	T5 HOJA	0.65	0.27	1.63	0.38	0.13	0.06	195	5	20	65	175	11.1	27
M-16	T6 RAIZ	0.35	0.12	0.19	0.25	0.09	0.04	450	5	40	215	75	11.3	30
M-17	T6 TALLO	0.26	0.22	1.69	0.13	0.07	0.05	120	5	35	50	50	5.9	52
M-18	T6 HOJA	0.59	0.23	2	0.19	0.07	0.04	165	5	15	45	75	9	98.5
M-19	T7 RAIZ	0.35	0.08	0.69	0.19	0.11	0.06	950	30	10	520	30	10	14.7
M-20	T7 TALLO	0.34	0.08	0.81	0.5	0.15	0.04	195	5	10	130	5	7.3	13
M-21	T7 HOJA	0.53	0.09	0.75	0.19	0.13	0.04	135	5	10	145	10	9.7	22
M-22	T8 RAIZ	0.39	0.08	0.41	0.19	0.14	0.04	950	20	10	215	55	13	69
M-23	T8 TALLO	0.46	0.17	1.5	0.13	0.14	0.05	70	5	10	60	20	7.8	38.5
M-24	T8 HOJA	1	0.2	1.63	0.25	0.16	0.05	125	5	20	125	45	11	119
M-25	T9 RAIZ	0.43	0.08	0.56	0.25	0.15	0.04	800	30	15	1075	50	13.5	23
M-26	T9 TALLO	0.34	0.1	1.5	0.13	0.12	0.05	115	10	10	120	5	9.9	12
M-27	T9 HOJA	0.59	0.1	1.31	0.19	0.11	0.04	85	15	15	175	5	6.7	24.1
M-28	T10 RAIZ	0.43	0.06	0.63	0.19	0.15	0.04	800	40	15	1125	55	17.2	18
M-29	T10 TALLO	0.61	0.1	1.63	0.19	0.13	0.1	450	15	35	445	20	14.6	7.5
M-30	T10 HOJA	0.75	0.1	1.81	0.13	0.11	0.06	110	5	10	120	5	11	30
M-31	T11 RAIZ	0.52	0.09	0.81	0.25	0.15	0.03	850	35	20	1025	70	15.1	12.1
M-32	T11 TALLO	0.59	0.16	1.44	0.19	0.13	0.04	50	15	65	230	15	8.8	2.5
M-33	T11 HOJA	0.69	0.16	2.13	0.19	0.16	0.02	125	5	10	115	25	8.2	17.4
M-34	T12 RAIZ	0.59	0.09	0.53	0.25	0.17	0.06	1550	15	15	1175	180	10.9	30
M-35	T12 TALLO	0.78	0.14	0.81	0.19	0.23	0.09	250	10	10	145	100	9.5	12.5
M-36	T12 HOJA	0.95	0.14	1.13	0.19	0.2	0.06	125	5	10	85	85	9.7	62
M-37	T13 RAIZ	0.59	0.1	0.44	0.25	0.19	0.07	1200	20	10	1125	130	12.5	30
M-38	T13 TALLO	1.04	0.2	1.25	0.19	0.28	0.15	190	10	25	245	95	9.5	12.5
M-39	T13 HOJA	1.05	0.18	1.63	0.25	0.28	0.11	105	5	10	100	85	11.1	68
M-40	T14 RAIZ	0.4	0.08	0.44	0.25	0.16	0.03	800	30	30	800	65	15	7.5
M-41	T14 TALLO	0.43	0.11	0.75	0.19	0.11	0.06	300	10	25	365	25	8.3	3.5
M-42	T14 HOJA	0.69	0.14	1.75	0.19	0.16	0.04	115	5	10	145	20	11.3	15.6

Observando minuciosamente los resultados de laboratorio tanto de suelo laborado como suelo virgen, se encuentra un fenómeno interesante entre el hierro (Fe) y el manganeso (Mn), estos al encontrarse desbalanceados presentan un efecto negativo en el peso seco del follaje, raíz y tallo. En el cuadro 26 se observa como en el suelo virgen (T7 al T10), los tratamientos 7,9 y 10 presentan desbalance en cuanto a hierro y manganeso, mientras que en el tratamiento 8 aplicado con zinc los niveles son mucho más parejos y por ende el peso en seco es mayor en comparación a los demás tratamientos.

En los tratamientos evaluados en suelo laborado (T11 al T14) se observa el mismo fenómeno observado en suelo virgen, siendo los tratamientos aplicados con boro (T11) y el aplicado con la mezcla boro+zinc+manganeso (T14) los que presente un desbalance entre los niveles de hierro y el manganeso presentes en la hoja.

Cuadro 26: Análisis químico de tejido foliar de los tratamientos evaluados en suelo virgen y suelo laborado

NUTRIENTE	%						Ppm						PESO SECO
	N	P	K	Ca	Mg	S	Na	Cu	Zn	Fe	Mn	B	gr
RANGO ACEPTABLE	2-2.6	0.18-0.3	1.1-1.8	0.2-0.5	0.1-0.35	0.14-0.2	-----	6.0-20	20-200	76-300	100-1000	10.0-50	
T7 NPK+B	0.53	0.09	0.75	0.19	0.13	0.04	135	5	10	145	10	9.7	22
T8 NPK+Zn	1	0.2	1.63	0.25	0.16	0.05	125	5	20	125	45	11	119
T9 NPK+Mn	0.59	0.1	1.31	0.19	0.11	0.04	85	15	15	175	5	6.7	24.1
T10 NPK+B+Zn+Mn	0.75	0.1	1.81	0.13	0.11	0.06	110	5	10	120	5	11	30
T11 NPK+B	0.69	0.16	2.13	0.19	0.16	0.02	125	5	10	115	25	8.2	17.4
T12 NPK+Zn	0.95	0.14	1.13	0.19	0.2	0.06	125	5	10	85	85	9.7	62
T13 NPK+Mn	1.05	0.18	1.63	0.25	0.28	0.11	105	5	10	100	85	11.1	68
T14 NPK+B+Zn+Mn	0.69	0.14	1.75	0.19	0.16	0.04	115	5	10	145	20	11.3	15.6

3.5. CONCLUSIONES

- El crecimiento y desarrollo del sistema radicular se vio favorecido por la aplicación de Zinc en suelo laborado y en suelo virgen, mientras que la aplicación de Boro y Manganeseo individuales, y mezcla de Boro+Zinc+Manganeseo provoco daño y necrosamiento al sistema radicular, limitando de esta manera su crecimiento y desarrollo.

3.6. RECOMENDACIONES

Considerar trabajar con un testigo para que exista un comparativo entre aplicado y no aplicado.

Elaborar estructuras que no limiten el crecimiento horizontal del sistema radicular, garantizando que tenga condiciones de crecimiento lo más parecido a condiciones de campo definitivo.

Plantear la posibilidad de probar distintas dosis de cada micronutriente para poder identificar si existe alguna que favorezca el crecimiento óptimo del cultivo de caña de azúcar.

3.7. MATERIALES Y RECURSOS

- Tubos de pvc de 10-12 pulgadas de ---diámetro y 1 metro de largo.
- Planchas de acrílico cristal de 5 mm de espesor.
- suelo virgen
- suelo trabajado
- peatmoos.
- 100 gr de Urea
- 100 gr de Triple súper fosfato
- 100 gr de muriato de potasio
- 100 gr de sulfato de Zinc
- 100 gr de sulfato de cobre
- 100 gr de sulfato de manganeso
- 100 gr de solubor.
- 30 toletes viables

3.8. ANEXOS



Figura 40: Tubos pvc para la elaboración de los rizotrones



Figura 41: Nivelado de suelo dentro de los rizotrones para colocación del acrílico cristal



Figura 42: Colocación del acrílico cristal con marco de madera

4. SERVICIO II: EVALUACIÓN DE LA RESPUESTA DEL CULTIVO DE CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum spp*) A LA APLICACIÓN DE FERTILIZANTES INORGÁNICOS Y ORGÁNICOS.

4.1. PRESENTACIÓN

La fertilidad es uno de los factores importantes que interfieren en la producción del cultivo de caña de azúcar, debido a que el crecimiento y desarrollo de las plantas está directamente relacionado con la disponibilidad de nutrientes existente en el suelo. Para llenar el requerimiento nutricional en cada etapa de desarrollo el cultivo se requiere que la concentración de macronutrientes y micronutrientes se encuentren entre los niveles de suficiencia. Sin embargo, en la actualidad se le ha brindado especial atención solamente a los macronutrientes, no así a los micronutrientes que también son esenciales para el desarrollo adecuado del cultivo, lo que ha sido la causa del empobrecimientos de los mismos en el suelo, también, existen otros factores que se suman a que los microelementos sean limitantes para los cultivos como es el pH de los mismos, el cual es importante en la solubilidad y disponibilidad (valores de pH >de 7.0), el contenido de materia orgánica la cual influye en el aporte y disponibilidad de los nutrientes.

Los micronutrientes tienen un papel importante en procesos metabólicos específicos dentro de las plantas. Entre ellos se encuentran el Boro (B), Zinc (Zn), Hierro (Fe), Cobre (Cu), Manganeso (Mn), Molibdeno (Mo), Cobalto (Co), Nique (Ni) y Cloro (Cl). Basándose en ello, es de relevancia evaluar cuál es el efecto que ellos tienen en la producción del cultivo de caña de azúcar.

4.2. OBJETIVO GENERAL

- Evaluar la respuesta del cultivo de caña de azúcar (*Saccharum spp*) a la aplicación de macronutrientes y micronutrientes utilizando fuentes orgánicas e inorgánicas al suelo y al follaje.

4.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar 12 programas de nutrición en el cultivo de caña de azúcar, (*Saccharum spp*) utilizando fuentes orgánicas e inorgánicas aplicadas al suelo y vía foliar.
- Determinar el tratamiento que influye positivamente sobre el desarrollo del cultivo de caña de azúcar.
- Determinar el efecto de los nutrientes evaluados al suelo y vía foliar sobre la concentración de los mismos en el tejido vegetal de la caña de azúcar.

4.4. METODOLOGÍA

4.4.1. Tratamientos

En la investigación se evaluó el efecto de 16 tratamientos, un testigo relativo y un testigo absoluto, los cuales se enumeran a continuación:

Cuadro 27: Tratamientos aplicados.

No de Tratamiento	Descripción	Dosis de micronutrientes y época de aplicación
1	Testigo absoluto	
2	NPK	
3	NPK + B	2.0 kg B/ha, al suelo (ms)
4	NPK + B	4.0 kg Bn/ha, al suelo (ms)
5	NPK + Zn	5.0 kg Zn/ha, al suelo (ms)
6	NPK + Zn	10.0 kg Zn/ha, al suelo (ms)
7	NPK + B + Zn	2.0 kg B y 5.0 kg de Z/ha, al suelo (ms)
8	NPK + B + Zn	4.0 kg B y 10 kg de Zn/ha, al suelo (ms)
9	NPK + B + Zn + Cu	2.0 B, 5.0 Zn y 4.0 kg Cu, suelo (ms)
10	NPK + B	Foliar con 2 aplicaciones. 90 y 150 dds
11	NPK + B + Zn	Foliar con 2 aplicaciones. 90 y 150 dds
12	Compost	8 ton/ha.
13	Compost + B + Zn (Granulado)	2 Kg B/ha y 5 Kg Zn/ha.
14	Compost + B + Zn (Foliales)	Foliales con 2 aplicaciones. 90 y 150 dds
15	NPK + Mg	30 kg Mg/ha, al suelo (ms)
16	NPK + Mg	60 Kg Mg/ha, al suelo (ms)

Fuente: propia (ms= momento de la siembra) (dds= días después de la siembra)

4.4.1.1. APLICACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS

La aplicación de compost en los tratamientos 12, 13 y 14 se realizó al momento de la siembra, al igual que el fosforo. La fertilización con nitrógeno y potasio se realizó a los 45 días de edad del cultivo. Las dosis de NPK utilizadas son de 100-80-100 kg/ha correspondientemente.

Las aplicaciones de los micronutrientes boro, zinc, cobre y manganeso se aplicaron con bomba de mochila, utilizando un volumen de aplicación de 200 lts de agua por hectárea, esto fue al suelo a distancia de 10 centímetros del surco.

Croquis de campo

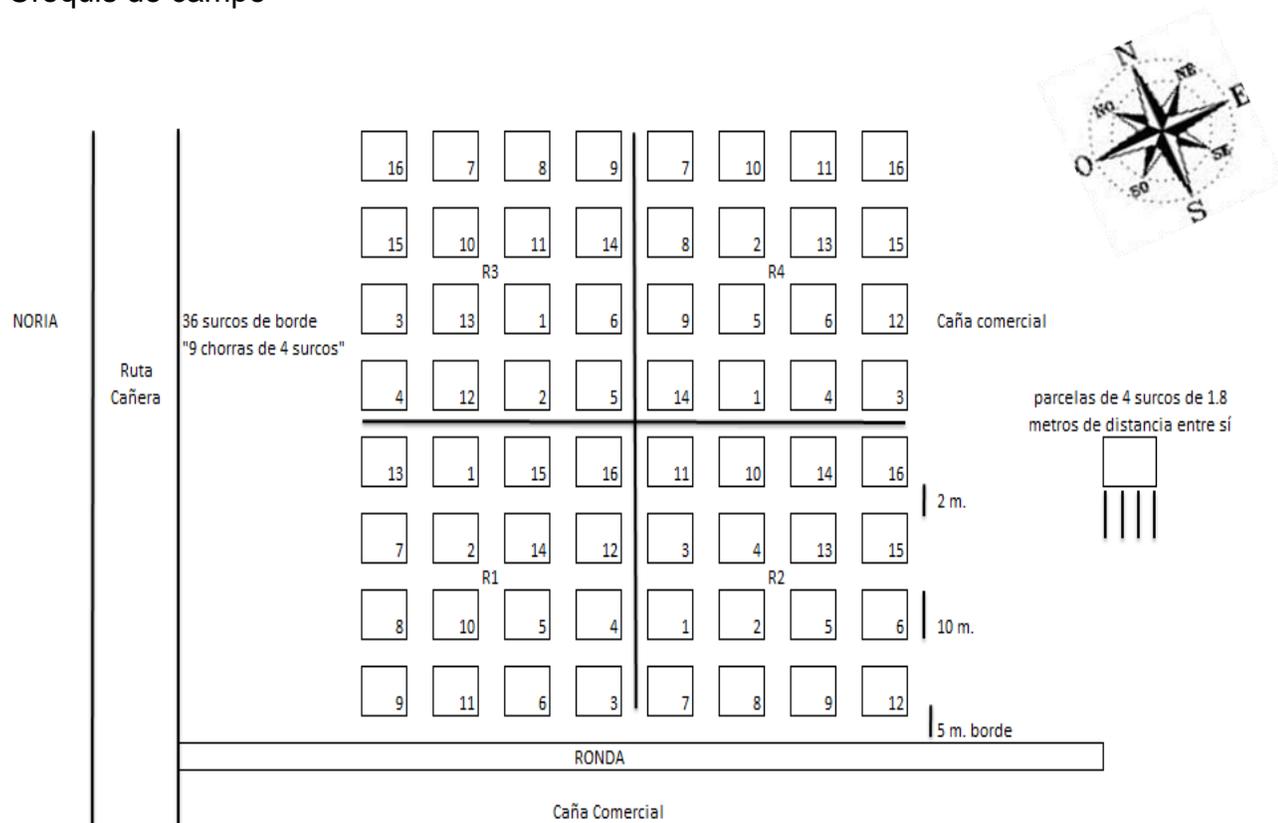


Figura 43: El croquis muestra la disposición de las unidades experimentales del ensayo en campo

4.4.2. Unidad experimental

La unidad es una parcela que consta de cuatro surcos, a una distancia entre surco de 1.8m y un largo de 10 metros ($72m^2$).

4.4.3. Diseño experimental

El diseño experimental utilizado, fue el de bloques completos al azar, y consistió en diez y seis tratamientos y 4 repeticiones.

El modelo estadístico es el siguiente:

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

y_{ij} : variable de respuesta observada o medida en el i -ésimo tratamiento y el j -ésimo bloque.

μ : media general de la variable de respuesta

τ_i : Efecto del i -ésimo tratamiento

β_j : Efecto del j -ésimo bloque

u_{ij} : error asociado a la ij -ésima unidad experimental

Medición de las variables de respuesta

4.4.4. Componentes del rendimiento

Se tomaron muestreos a lo largo del desarrollo del ciclo del cultivo, entre ellos básicamente están muestres de población, altura de tallos, clorofila y análisis foliares.

4.4.4.1. Población

Para la población de tallos se contaron todos los tallos presentes en los dos surcos centrales (surco 2 y 3) de cada unidad experimental.

4.4.4.2. Altura

Para la variable altura de tallos, se midió la longitud de 10 tallos primarios seleccionados en los 2 surcos centrales de cada parcela (5 de cada surco), ello con el objetivo de evitar muestrear el efecto provocado por los tratamientos cercanos. La altura se midió desde el nivel del suelo hasta la última lígula visible (cuello de la hoja visible) de cada tallo.

4.4.4.3. Toneladas de caña por hectárea

Se cosecho en forma manual la totalidad de tallos de los 4 surcos de cada parcela a la edad que lo defina el ingenio de acuerdo al bloque comercial. El pesado se realizó pesando todos los tallos de cada parcela con una balanza digital de campo y los pesos se expresaron finalmente en Tm/ha.

4.4.4.4. Análisis foliar

A la edad de 5 meses se realizó un análisis foliar de cada una de las unidades experimentales, esto como una herramienta que pueda aportar información en cuanto a los niveles de los nutrientes dentro de planta en cada tratamiento aplicado.

4.4.4.5. Manejo agronómico

Las labores de riego, control de malezas, control de plagas y enfermedades se realizaron de manera sincronizada con el manejo agronómico que la finca recibió.

4.4.5. Análisis de la información

Para determinar el efecto de cada tratamiento sobre las toneladas de caña por hectárea, se midieron las siguientes variables: población, altura de tallos, clorofila, número de entrenudos y pesos de cada unidad experimental al final de la cosecha (expresado en TCH). Una vez obtenidos y tabulados estos datos se sometieron a procesos estadísticos, como análisis de varianza.

4.5. RESULTADOS

A continuación se presentan los resultados y discusiones de los datos obtenidos de la aplicación de los tratamientos en el cultivo de caña de azúcar (*Saccharum spp*)

4.5.1. Variable altura

En cuanto a la variable altura se obtuvo que el tratamiento número seis presentó la mayor longitud con 343.43 centímetros, este tratamiento fue el aplicado con Zinc en dosis de 10kg/ha al suelo, mientras que el tratamiento número 15 presentó la menor altura con 282.85 centímetros, este aplicado con Magnesio en dosis de 30kg/ha (grafico 44).

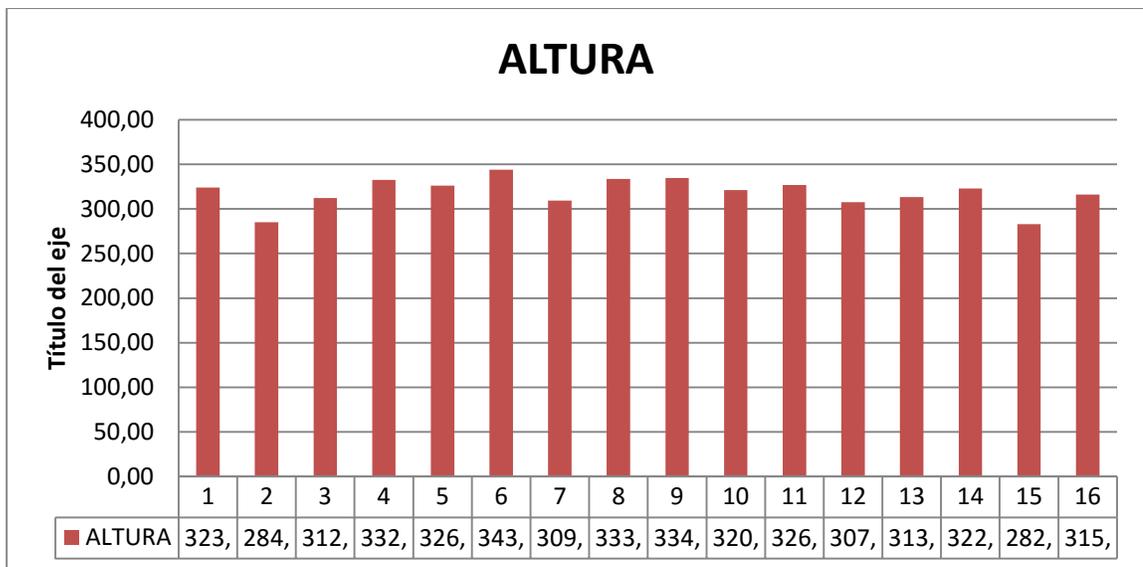


Figura 44: Gráfico de altura de tallos

4.5.2. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

4.5.2.1. Altura

Según el análisis de varianza realizada se obtuvo que si existe significancia en cuanto a los tratamientos aplicados (los valores de P son menores a 0.05), presentándose la mayor altura de tallo en el tratamiento número seis, nueve ocho y cuatro con 343,75 centímetros, los cuales contenían NPK (100-80-100 kg/ha)+ B, Zn, Cu aplicados al suelo. El tratamiento

que presento la menor altura de tallos fue el tratamiento o 15 con 282,85 centímetros, el cual contenía (100-80-100 kg/ha)+ 30kg de Mg/ha aplicado al suelo. Los resultados indican que los microelementos Zn, B y Cu de alguna manera influyen en la altura de la caña bajo las condiciones edáficas en que se realizó la investigación (Figura 45 y 46).

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
altura	335	0,15	0,11	12,64

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	89339,13	15	5955,94	3,70	<0,0001
Tratamiento	89339,13	15	5955,94	3,70	<0,0001
Error	513817,30	319	1610,71		
Total	603156,43	334			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=42,69089

Error: 1610,7126 gl: 319

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
6,00	343,75	20	8,97	A
9,00	334,55	20	8,97	A
8,00	333,65	20	8,97	A
4,00	332,30	20	8,97	A
11,00	326,85	20	8,97	A B
5,00	326,10	20	8,97	A B
1,00	323,85	20	8,97	A B C
14,00	322,68	25	8,03	A B C
10,00	320,95	20	8,97	A B C
16,00	315,90	20	8,97	A B C
13,00	313,30	20	8,97	A B C
3,00	312,25	20	8,97	A B C
7,00	309,36	25	8,03	A B C
12,00	307,55	20	8,97	A B C
2,00	284,88	25	8,03	B C
15,00	282,85	20	8,97	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Figura 45: Análisis de varianza de la variable altura

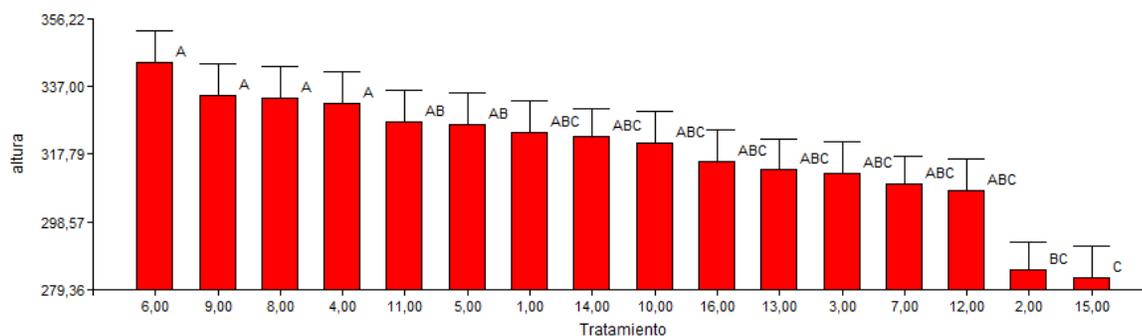


Figura 46: Análisis de varianza

4.5.2.2. Número de entrenudos

Para la variable número de entrenudos se obtuvo un rango entre 22 y 26. El valor menor fue para el tratamiento 14 y el mayor para el tratamiento 9. (Figura 47).



Figura 47: Gráfico de número de entrenudos

Al realizar el análisis de varianza se obtuvieron diferencias significativas entre tratamientos. La prueba de Medias según Tukey indica que el mayor número de nudos se obtuvo con el tratamiento 9, el cual contenía NPK (100-80-100 kg/ha)+ B, Zn y Cu (2, 5 y 4 Kg/ha respectivamente) aplicados al suelo y el menor número de entrenudos se obtuvo con el tratamiento 14 el cual contenía Compost +B y Zn aplicados vía foliar. (figura 48). Los resultados indican que los microelementos B, Zn y Cu aplicados al suelo también influyen sobre el número de entrenudos.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
entrenudos	335	0,24	0,20	13,15

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	1006,73	18	55,93	5,58	<0,0001
Tratamiento	392,94	15	26,20	2,61	0,0010
Repetición	660,56	3	220,19	21,97	<0,0001
Error	3166,41	316	10,02		
Total	4173,13	334			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=3,36718

Error: 10,0203 gl: 316

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
9,00	25,80	20	0,71	A
4,00	25,35	20	0,71	A B
5,00	25,25	20	0,71	A B
10,00	24,90	20	0,71	A B
6,00	24,85	20	0,71	A B
12,00	24,70	20	0,71	A B
1,00	24,65	20	0,71	A B
3,00	24,60	20	0,71	A B
8,00	24,15	20	0,71	A B
11,00	23,95	20	0,71	A B
13,00	23,40	20	0,71	A B
15,00	23,40	20	0,71	A B
16,00	23,15	20	0,71	A B
2,00	22,65	25	0,64	A B
7,00	22,49	25	0,64	A B
14,00	22,25	25	0,64	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Figura 48: Análisis de varianza de la variable número de entrenudos.

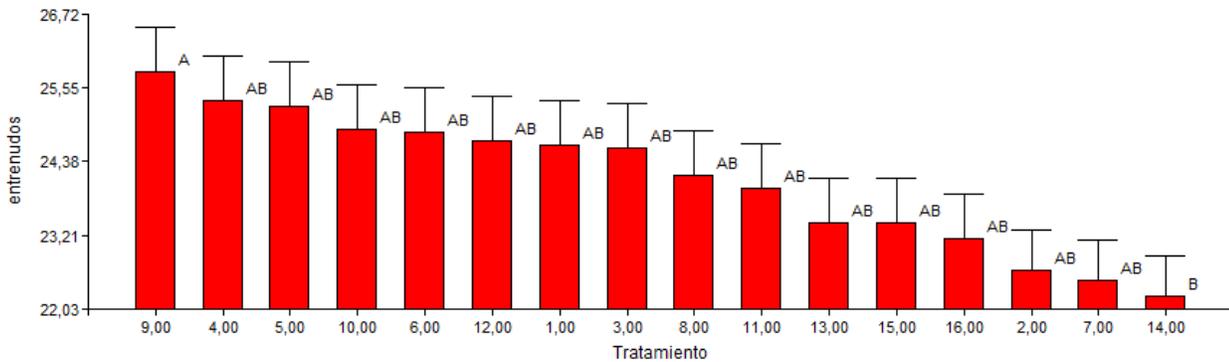


Figura 49: Grafico de análisis de varianza de la variable número de entrenudos.

4.5.2.3. Contenido de nutrientes en las hojas

Los resultados de los análisis de tejido vegetal indican que el nitrógeno se encuentra en el rango adecuado en todos los tratamientos y no presentan mayor variación, de igual forma el fósforo (P), el potasio también tiende a estar en un rango adecuado en casi todos los tratamientos exceptuando el tratamiento uno y dos, lo que indica cierta tendencia a la respuesta ya que el tratamiento absoluto posee la menor concentración (cuadro 28).

El comportamiento del Ca y el Mg es similar al N y el P, es decir los valores de concentración se encuentran dentro del rango de adecuado. Para el B, todos los valores se encuentran dentro del rango aceptable. En cuanto al cobre se observa que ninguno de los resultados obtenidos muestra un aumento en la concentración del mismo en la hoja, por ende todos los valores se encuentran por debajo de los rangos aceptables, incluyendo el T9 en donde se aplicó 4kg/ha cobre. En la mayoría de tratamientos el Zinc se encuentra por debajo de los rangos aceptables, al parecer cuando se aplicó el Zn al suelo y vía foliar combinado con Compost se obtuvieron las concentraciones mayores. Lo que indica que el compost influyó en la absorción.

Cuadro 28: Datos de análisis foliares realizado a los 5 meses de edad del cultivo

	%					Ppm					
	Nt	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
rangos aceptables	1.50 - 2.50	0.15 - 0.25	1.00 - 1.70	0.16 - 0.40	0.08 - 0.25	1300-3000	1.00 - 30	4.00-10	30-200	12-200	13-40
T1	2.21	0.21	0.89	0.29	0.16	1005.00	5.45	1.30	244.50	24.30	10.65
T2	2.48	0.21	0.97	0.27	0.14	1065.00	9.20	1.30	234.50	22.65	9.60
T3	2.43	0.24	1.00	0.27	0.14	1205.00	4.75	1.35	189.00	25.90	9.35
T4	2.37	0.24	1.27	0.28	0.15	1205.00	4.95	1.55	229.50	31.60	12.20
T5	2.05	0.21	0.97	0.28	0.13	930.00	2.30	1.70	477.50	32.65	8.30
T6	2.32	0.22	1.15	0.24	0.13	1195.00	3.00	1.40	147.00	24.65	10.65
T7	2.00	0.23	1.16	0.28	0.14	990.00	5.30	1.35	236.50	26.40	11.10
T8	2.37	0.25	1.28	0.29	0.15	1080.00	3.25	2.40	283.00	50.00	13.15
T9	2.10	0.20	1.08	0.30	0.15	935.00	3.15	1.40	295.50	26.80	10.70
T10	2.43	0.22	1.20	0.25	0.14	1055.00	3.70	1.65	291.50	25.80	11.40
T11	2.32	0.20	1.19	0.28	0.13	935.00	3.50	1.45	268.00	27.35	11.60
T12	2.21	0.22	1.31	0.24	0.14	1190.00	3.25	1.95	230.50	29.70	11.80
T13	2.10	0.22	1.21	0.28	0.14	1060.00	5.40	1.75	318.00	41.95	13.70
T14	2.10	0.22	1.32	0.24	0.13	1080.00	2.95	1.75	168.00	29.15	15.85
T15	3.83	0.21	1.21	0.28	0.14	1025.00	3.25	1.30	404.00	30.40	11.55
T16	2.37	0.22	1.31	0.24	0.13	1125.00	3.00	1.75	258.00	31.15	11.70

4.5.2.4. Toneladas de caña por hectárea

Los resultados en cuanto a las toneladas de caña por hectárea, muestran un tonelaje alto en cuanto a los tratamientos seis y quince, estos aplicados con 10kg/ha de Zinc y 30kg/ha de Magnesio respectivamente, por otro lado los tratamientos que presentaron los menores tonelajes son el número ocho con 140.5 Toneladas y el tratamiento número diez con 140.02 toneladas, cabe mencionar que el tratamiento número ocho fue aplicado con una mezcla de boro y zinc en dosis de 4 y 10kg/ha al suelo respectivamente, el tratamiento número diez fue aplicado con 150 gramos de boro aplicado vía foliar (figura 50).

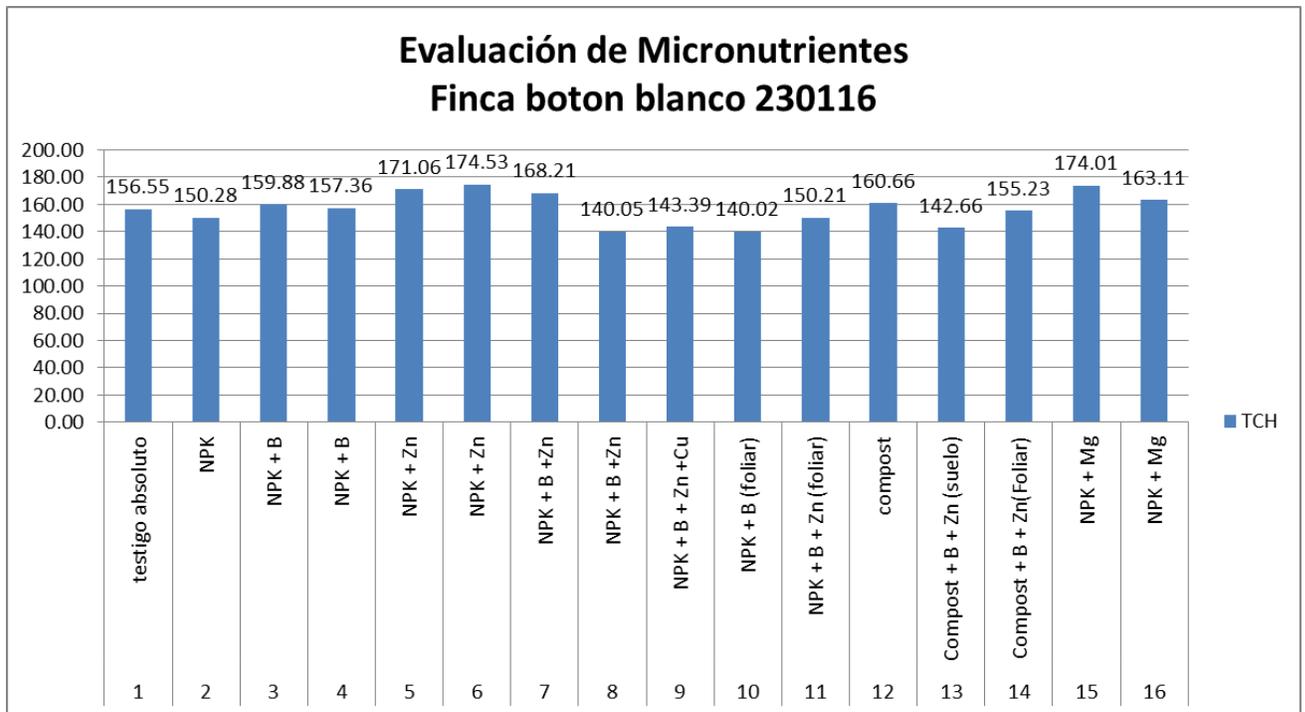


Figura 50: Toneladas de caña por hectárea

El cuadro 29 muestra el análisis de varianza de la variable toneladas de caña de azúcar por hectárea, en donde se muestra que no existe significancia entre los tratamientos aplicados dado que el P-valor es mayor a 0,05.

Cuadro 29: Análisis de varianza de la variable toneladas de caña por hectárea.

Cuadro de análisis de la Varianza					
F.V.	SC	gl	CM	F	P-valor
Modelo	8156,97	15	543,80	0,90	0,5699
Tratamiento	8156,97	15	543,80	0,90	0,5699
Error	19030,78	48	604,81		
Total	37187,75	63			

4.6. CONCLUSIONES

- Los tratamientos que influyeron para obtener la mayor altura fueron el seis, nueve, ocho y cuatro los cuales contenían NPK (100-80-100 kg/ha)+ B, Zn, Cu aplicados al suelo, para el mayor número de entrenudo el tratamiento que mas influyó fue el nueve, el cual contenía NPK (100-80-100 kg/ha)+ B, Zn y Cu (2, 5 y 4 Kg/ha respectivamente) aplicados al suelo. Para la variable toneladas de caña no se encontraron diferencias significativa por efecto de los tratamientos evaluados.
- La concentración de nutrientes en el tejido vegetal indican que a N, P, Ca y Mg se encontraban dentro del rango de suficiencia, no así para el K donde se encontró cierta respuesta. Para el caso del Cu, Zn, Fe y Mn, los valores de Cu en todos los tratamientos se encontraron abajo del rango de suficiencia no así para el Fe y el Mn donde los valores estaban arriba del rango de suficiencia. Para el caso del Zn los mayores valores se encontraron cuando se aplicó conjuntamente con el Compost.

1.7 RECOMENDACIONES

- Realizar nuevas evaluaciones tomando en cuenta las concentraciones de los nutrientes en el suelo.

1.8 CONSTANCIAS



Figura 51: Peso de la mezcla física a aplicar



Figura 52: Realización del rayado a 10 cm del pie del surco para la aplicación del fertilizante



Figura 53: Preparación de solución de cobre y zinc para la aplicación