

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**

**FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**ÁREA INTEGRADA**



**MAGDA ELENA REYES JAVIER**

**GUATEMALA, ENERO DE 2019**



**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE AGRONOMÍA  
ÁREA INTEGRADA**

**TRABAJO DE GRADUACIÓN**

**EVALUACIÓN DE LA APLICACIÓN DE SILICATO DE POTASIO Y SILICATO  
DE MAGNESIO SOBRE LA PRODUCCIÓN, EN EL CULTIVO DE CAÑA DE  
AZÚCAR (*Saccharum spp*) EN LA FINCA LA NIÑA, DIAGNÓSTICO Y  
SERVICIOS PRESTADOS EN EL INGENIO SANTA ANA, ESCUINTLA,  
GUATEMALA, C.A.**

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

**POR**

**MAGDA ELENA REYES JAVIER**

**EN EL ACTO DE INVESTIDURA COMO INGENIERA AGRÓNOMA**

**EN SISTEMA DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA**

**EN EL GRADO ACADÉMICO DE**

**LICENCIADA**

**GUATEMALA, ENERO DE 2019**



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

RECTOR

Ing. M.Sc. Murphy Olympo Paiz Recinos

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA

DECANO	Ing. Agr. Mario Antonio Godínez López
VOCAL PRIMERO	Dr. Tomás Antonio Padilla Cámbara
VOCAL SEGUNDO	Ing. Agr. M.A. César Linneo García Contreras
VOCAL TERCERO	Ing. Agr. M.A. Jorge Mario Cabrera Madrid
VOCAL CUARTO	Per. Electr. Carlos Waldemar de León Samayoa
VOCAL QUINTO	P. Agr. Marvin Manolo Sicajaú Pec
SECRETARIO	Ing. Agr. Juan Alberto Herrera Ardón

GUATEMALA, ENERO DE 2019

Guatemala, enero de 2019

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 aplicación de Silicato de Potasio y Silicato de Magnesio sobre la producción, en el cultivo de caña de azúcar (*saccharum spp*) en la finca La Niña, diagnóstico y servicios prestados en el Ingenio Santa Ana, Escuintla, Guatemala, C.A.** como requisito previo a optar al título de Ingeniera Agrónoma en Sistemas de Producción Agrícola, en el grado académico de licenciada.

Esperando que el mismo llene los requisitos necesarios para su aprobación, me es grato suscribirme.

Atentamente,

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

Magda Elena Reyes Javier

201111965

## ACTO QUE DEDICO

A Dios y Virgen María:

Por darme la sabiduría para cumplir cada uno de mis sueños.

A mis Padres:

Pedro Antonio Reyes Garrido  
Astri Claudia Javier Rivera

Por darme la vida, confianza de cada uno de mis pasos, por estar conmigo en los buenos y malos momentos pero sobre todo por el gran amor y valores que me han inculcado.

A mis hermanos:

Claudia Irene Reyes Ortiz  
Erick Antonio Reyes Javier  
Jaqueline Azucena Reyes Javier  
Orfran Javier Rivera

Por estar conmigo en todo momento, ayudarme con en mis desvelos darme todo su apoyo y comprensión. Los quiero un montón.

A mis sobrinas:

Sofía y Samantha.

A mis tíos:

Bayron Javier, Estuardo Rivera, Karina Javier, Fredy Reyes.

Gracias por darme cada uno de sus consejos tanto en mi vida personal como en la profesional.

A mis Abuelos:

Irene Garrido  
Maria Elena Rivera Castillo  
Abel Javier Arteaga

Por acompañarme en este camino y darme todo el amor que tienen.

A mi esposo:

Alvaro Benjamín Rodríguez Corado

Por apoyarme en todo lo profesional y estar en los momentos donde más lo necesitaba.

A mis amigos y familia:

Bárbara López, Axel Raúl, Luis Barneond, Estuardo Juárez, Mónica Hernández, Andrea Meoño, Karla Patricia, Nora del Cid, Karen Sosa, Dina, Cindy, Diana, Selvin Gonzalez, Josué Morales, Andreina Reyes, Stephanie Marie, Manuel Quintana, José Gonzalez, Herbin Reyes, Laura Morales, Dalila, Ivette del Valle, Jorge Cano, Marian Reyes, Nelly Gonzalez.

Gracias por su amistad y apoyo.



## TRABAJO DE GRADUACIÓN QUE DEDICO

A Guatemala:

País de la eterna primavera.

A Universidad de San Carlos de Guatemala

Alma mater y fuente de conocimiento y sabiduría.

A Facultad de Agronomía:

Por formarme como profesional y darme sus conocimientos en el campo de agronomía.

A empresa Tigsa:

Por ser parte del final de mi sueño y un proceso tan importante para mi vida, gracias por darme un recibimiento y un mayor conocimiento.

A Ingenio Santa Ana:

Por ser parte del final de mi sueño y un proceso importante en mi vida, gracias por permitir realizar las diferentes evaluaciones en su empresa tan prestigiosa y exitosa en la agroindustria azucarera de Guatemala.

## AGRADECIMIENTOS

A Ing. Agr. Alex Pacheco

Por su valiosa confianza, amistad, apoyo condicional durante el periodo de mi EPS y por brindarme de su gran conocimiento sobre diseñar un programa efectivo de fertilización.

A Ing. Agr. Alvaro Rodríguez

Por su apoyo brindado en mi investigación, sus sabios consejos y gran experiencia en el campo profesional.

A Ing. Agr. Marvin Pec

Por su apoyo brindado en el desarrollo de mi investigación.

A Ing. Agr. Fernando Itzep

Por su apoyo incondicional, su amistad y conocimiento en todo el periodo de mi EPS

A Ing. Agr. Adalberto Rodriguez

Por el apoyo y asesoría en la ejecución de mi EPS.

A Ing. Agr. Manuel Martínez

Por su asesoría en el cultivo de caña de azúcar durante el desarrollo de mi investigación.

## I. ÍNDICE GENERAL

Contenido	Página
II. Índice de figuras.....	v
III. Índice de cuadros.....	viii
Resumen .....	ix
CAPÍTULO 1 .....	1
Diagnóstico sobre el estado actual del manejo de fertilizantes Tigma en el Departamento de Investigación, establecido en el Ingenio Santa Ana, Escuintla, Escuintla. ....	1
1.1 PRESENTACIÓN.....	3
1.2 OBJETIVOS.....	4
1.2.1 Objetivo General.....	4
1.2.2 Objetivos Específicos .....	4
1.3 METODOLOGÍA .....	5
1.3.1 Características de los fertilizantes Tigma, línea Sfera .....	5
1.4 RESULTADOS.....	6
1.4.1 Ubicación y descripción del área de estudio.....	6
1.4.2 Fertilizantes Tigma .....	6
1.4.3 Evaluaciones Tigma dentro del Ingenio Santa Ana. ....	7
1.5 CONCLUSIONES .....	10
1.6 BIBLIOGRAFÍA.....	11
CAPÍTULO II.....	13
INVESTIGACIÓN.....	13
Evaluación de la aplicación de silicato de potasio y silicato de magnesio sobre la producción, en el cultivo de caña de azúcar ( <i>Saccharum spp</i> ). Finca La Niña, Ingenio Santa Ana, Escuintla, Guatemala C.A. ....	13

	Página
2.1 PRESENTACIÓN .....	15
2.2 MARCO TEÓRICO.....	16
2.2.1 Marco Conceptual .....	16
2.2.1.1 Taxonomía de la caña de azúcar .....	16
2.2.1.2 Historia de la caña de azúcar .....	16
2.2.1.3 Ciclo de la caña de azúcar .....	16
2.2.1.4 Morfología de caña de azúcar .....	17
2.2.1.6 Requerimientos climáticos .....	18
2.2.1.7 Requerimientos edáficos.....	19
2.2.1.8 Variedad de caña de azúcar .....	19
2.2.1.9 Nutrientes de la caña de azúcar.....	21
2.2.1.10 Elemento Silicio.....	21
2.2.1.11 Deficiencia de Silicio .....	23
2.2.1.12. Toxicidad de Silicio.....	23
2.2.2 Marco Referencial .....	24
2.2.2.1 Ubicación geográfica de la zona cañera de costa sur, Guatemala .....	24
2.2.2.2 Localización y descripción de finca La Niña .....	25
2.2.2.3 Variedad SP 71-6161 .....	29
2.3 OBJETIVOS .....	31
2.3.1 Objetivo General .....	31
2.3.2 Objetivos Específicos .....	31
2.4 HIPÓTESIS .....	31
2.5 METODOLOGÍA.....	32
2.5.1 Método Experimental .....	32
2.5.1.2 Modelo Estadístico .....	32
2.5.1.2 Unidad Experimental .....	32
2.5.1.3 Tratamientos .....	33
2.5.1.4 Distribución de los tratamientos y repeticiones .....	34
2.5.1.5 Variables a medir en el campo.....	36
2.5.1.6 Análisis de información .....	36

	Página
2.5.2 Manejo del experimento .....	37
2.5.2.1 Área experimental.....	37
2.5.2.2 Preparación de área experimental.....	37
2.6 RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	38
2.6.1 Número de tallo .....	38
2.6.2 Diámetro de tallo moledero.....	40
2.6.3 Longitud de tallos molederos.....	44
2.6.4 Producción de caña de azúcar (T/ha).....	46
2.7 CONCLUSIONES .....	49
2.8 RECOMENDACIONES.....	50
2.9 BIBLIOGRAFÍA.....	51
CAPÍTULO III .....	53
Informe final de servicios realizados en Tigsá dentro del Ingenio Santa Ana S.A. Escuintla.....	53
3.1 PRESENTACIÓN .....	55
3.2 AREA DE INFLUENCIA.....	56
3.3 OBJETIVO GENERAL.....	57
3.4 SERVICIOS PRESTADOS .....	58
3.4.1 Evaluación del efecto de distintos niveles de Zinc para evaluar el comportamiento de barrenados de tallo ( <i>Diatraea cambidoides</i> ). .....	58
3.4.1.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	58
3.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	59
3.4.3 METODOLOGÍA.....	60
3.4.3.1 Condiciones experimentales.....	60
3.4.4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	63
3.4.4.1 Densidad Larval.....	63
3.4.4.2 Absorción de Zinc.....	64
3.4.5 Ensayo de un plan nutricional de micronutrientes .....	66
3.4.5.1 DEFINICION DEL PROBLEMA.....	66
3.4.6 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	67

	Página
3.4.7 METODOLOGÍA .....	68
3.4.7.1 Condiciones experimentales .....	68
3.4.7.2 Muestreo de suelo.....	68
3.4.7.3 Interpretación agronómica del análisis de suelo .....	69
3.4.8 RESULTADOS Y DISCUSION.....	70
3.4.8.1 Muestreo de suelo.....	70
3.4.8.2 Interpretación agronómica del análisis de suelo .....	71
3.5 BIBLIOGRAFÍA.....	75

## II. Índice de figuras

Contenido	Página
Figura 1. Silicio en las paredes de las células epidérmicas .....	22
Figura 2. Ubicación geográfica de la zona cañera de la costa sur de Guatemala.....	24
Figura 3. Estratos altitudinales de la zona cañera. Masagua, Escuintla Guatemala. ....	26
Figura 4. Distribución de los pantes en la finca La Niña, Ingenio Santa Ana. Masagua, Escuintla, Guatemala.....	15
Figura 5. Mapa de clasificación de suelos de la zona cañera del sur de Guatemala. ....	29
Figura 6. Distribución de los tratamientos y repeticiones dentro del pante 101 de la finca La Niña, Ingenio Santa Ana, Masagua, Escuintla, Guatemala.....	35
Figura 7. Número de tallo moledero por metro lineal, en la evaluación de la aplicación de silicato de potasio y silicato de magnesio sobre la producción, en el cultivo de caña de azúcar ( <i>Saccharum spp</i> ), finca La Niña, Ingenio Santa Ana, Escuintla. ....	39
Figura 8. Diámetro (mm) de tallos molederos entre tratamientos. En la evaluación de la aplicación de silicato de potasio y silicato de magnesio sobre la producción, en el cultivo de caña de azúcar ( <i>Saccharum spp</i> ), finca La Niña, Ingenio Santa Ana, Escuintla. ....	43
Figura 9. Comparativo de producción (T/ha) entre tratamientos. En la evaluación de la aplicación de silicato de potasio y silicato de magnesio sobre la producción, en el cultivo de caña de azúcar ( <i>Saccharum spp</i> ), finca La Niña, Ingenio Santa Ana, Escuintla. ....	47
Figura 10. Distribución de los tratamientos y repeticiones dentro del pante 307 de la finca California, Ingenio Santa Ana, Escuintla, Guatemala. ....	61
Figura 11. Muestreo de suelo realizado en Ingenio Santa Ana, finca Llanes en los pantes 1422, 1423, 1425. Escuintla, Escuintla.....	70
Figura 12. Resultados de análisis de suelo de laboratorio de Soluciones Analíticas realizados en Ingenio santa Ana, finca Llanes pantes 1422, 1423, 1425. Escuintla, Escuintla. ....	71





### III. Índice de cuadros

Contenido	Página
Cuadro 1. Estado actual de los productos de la línea Sfera (Tigsa).....	6
Cuadro 2. Características de las fincas evaluadas: La Niña, Llanes y California, dentro del Ingenio Santa Ana Escuintla, Guatemala. ....	8
Cuadro 3. Manejo agronómico de la caña de azúcar en las fincas a evaluar: La Niña, Llanes y California, dentro del Ingenio Santa Ana Escuintla, Guatemala. ....	9
Cuadro 4. Características climáticas de Masagua, Escuintla (finca La Niña). ....	25
Cuadro 5. Recomendación de madurante de la variedad SP 71-6161, en Guatemala. ....	30
Cuadro 6. Tratamientos y dosis de SiO <sub>2</sub> aplicado en la finca La Niña (Pante 101), Ingenio Santa Ana, Masagua. Guatemala. ....	33
Cuadro 7. Número de tallos molederos por metro lineal en la evaluación de la aplicación de silicato de potasio y silicato de magnesio sobre la producción, en el cultivo de caña de azúcar ( <i>Saccharum spp</i> ), finca La Niña, Ingenio Santa Ana, Escuintla. ....	38
Cuadro 8. Análisis de varianza de población en metro lineal. ....	38
Cuadro 9. Diámetro del segundo, sexto, noveno, longitud de tallo (mm); en la evaluación de la aplicación de silicato de potasio y silicato de magnesio sobre la producción, en el cultivo de caña de azúcar ( <i>Saccharum spp</i> ), finca La Niña, Ingenio Santa Ana, Escuitla. ....	40
Cuadro 10. Análisis de varianza diámetro de tallo moledero (mm) del segundo entrenudo. ....	41
Cuadro 11. Análisis de varianza diámetro de tallo moledero (mm) del sexto entrenudo. ....	41
Cuadro 12. Análisis de varianza diámetro de tallo moledero (mm) del noveno entrenudo. ....	41
Cuadro 13. Análisis de varianza del diámetro promedio a lo largo del tallo (mm). ....	42
Cuadro 14. Promedio de longitud de tallo (cm) a los 37, 72, 102 y 137 días después de la aplicación de fertilizantes. En la evaluación de la aplicación de silicato de potasio y silicato de magnesio sobre la producción, en el cultivo de caña de azúcar. ....	44

Cuadro 15. Análisis de varianza de longitud de tallo molederos (cm).....	45
Cuadro 16. Producción (T/ha) entre tratamientos. En la evaluación de la aplicación de silicato de potasio y silicato de magnesio sobre la producción, en el cultivo de caña de azúcar ( <i>Saccharum spp</i> ), finca La Niña, Ingenio Santa Ana, Escuintla. ....	46
Cuadro 17. Análisis de varianza toneladas métricas de caña por hectáreas. ....	46
Cuadro 18. Diseño e instalación de ensayo de los diferentes tatamientos en finca California, Ingenio Santa Ana, Escuintla, Guatemala.....	60
Cuadro 19. Número del análisis estadístico (larvas/ha) de Barrenador de tallo, dentro del pante 307 de la finca California, Ingenio Santa Ana, Escuintla, Guatemala.....	63
Cuadro 20. Coeficiente de variación de número de larva/ha (14 de agosto 2017). ....	63
Cuadro 21. Coeficiente de variación de número de larva/ha, 10 de octubre 2017.....	64
Cuadro 22. Análisis foliar realizado en los diferentes niveles de Zn, aplicado en Finca California a los 180 días después de la aplicación.....	65
Cuadro 23. Producto Tigma de la línea Sfera que se aplicó en Ingenio Santa Ana, finca Llanes pantes 1422, 1423, 1425. Escuintla, Escuintla. ....	73

# **Evaluación de la aplicación de silicato de potasio y silicato de magnesio sobre la producción, en el cultivo de caña de azúcar (*saccharum spp*) en la Finca La Niña, diagnóstico y servicios prestados en el Ingenio Santa Ana, Escuintla, Guatemala, C.A.**

## **Resumen**

El Ejercicio Profesional Supervisado fué realizado en la empresa Tigma, enfocada en la aplicación de fertilizantes granulados, los cuales fueron evaluados en el cultivo de caña de azúcar dentro del Ingenio Santa Ana, durante el periodo febrero 2017 – abril 2018.

Con el diagnóstico se logró determinar algunos de los problemas que se encuentran dentro del Ingenio Santa Ana y que la solución se puede llegar a presentar cuando se aplican diferentes fertilizantes.

Tigma es una empresa que se dedica a la producción y distribución de fertilizantes con un sistema personalizado que se adapta a cada una de las necesidades del suelo y una región específica, con ayuda de AGROSAT® una empresa Alemana, se pueden obtener diferentes mapas los cuales muestran un análisis de suelo: macronutrientes, micronutrientes, materia orgánica, pH, elementos tóxicos, etc.

Respecto a la investigación, se llevó a cabo un protocolo y posteriormente se ejecutó la investigación “Evaluación de la aplicación de silicato de potasio y silicato de magnesio sobre la producción, en el cultivo de caña de azúcar (*Saccharum spp*). Finca La Niña, Ingenio Santa Ana, Escuintla. C.A.”, en la cual fueron evaluados variables como número de tallo, diámetro, longitud de tallo y producción.

La investigación estuvo enfocada en evaluar los beneficios brindados al aplicar un fertilizante a base de silicato en caña de azúcar, se llevó a cabo en la Finca La Niña ubicada en Masagua, Escuintla en el Ingenio Santa Ana. Se estableció en el pante 101 con un diseño de bloques completamente al azar, en donde se evaluó fuentes de silicio (fertilizantes Tigma): Silicato de potasio, Silicato de magnesio, silicato de potasio + probiótico y sin aplicación de Silicio; dos dosis de silicio (150 kg/ha y 200 kg/ha) divididas en cuatro repeticiones con un total de siete tratamientos, aplicados de forma mecanizada a los 30 días después de la primera cosecha.

La respuesta al efecto de silicio se analizó con un ANDEVA con ayuda del programa INFOSAT®, utilizando un análisis de varianza con un intervalo de confianza de 95 % y un nivel de significación de 5 %, donde se logró determinar que las variables a considerar no presentaron ninguna diferencia estadísticamente significativa.

En términos generales se determinó que la producción de toneladas métricas por hectárea de caña de azúcar no presenta ninguna diferencia estadísticamente significativa al aplicar

un fertilizante a base silicato. Sin embargo, el tratamiento Sfera Sti 200 kg/ha (Silicato de potasio) presenta un mejor promedio con respecto a todas las variables evaluadas por esta razón llega a presentar un promedio de 208.95 T/ha de caña de azúcar, aunque este no muestre estadísticamente ninguna diferencia significativa con los otros tratamientos.

Además del diagnóstico y la investigación, se realizaron servicios para el área de investigación, plagas y enfermedades dentro del Ingenio Santa Ana, entre estos están:

1. Evaluación del efecto de distintos niveles de Zinc para evaluar el comportamiento de barrenador de tallo (*Diatraea cambidoides*). El servicio fue elaborado con el fin de determinar el efecto de aplicación de distintos niveles de Zinc como un control de barrenador de tallo (*Diatraea cambidoides*). Trabajo realizado en Finca California, Ingenio Santa Ana Zafra 2017-2018.
2. Ensayo de un plan nutricional de micronutrientes. El servicio fue elaborado para poder realizar un plan nutricional con fertilizantes Tigsa que se adecuaran a la Finca Llanes, Ingenio Santa Ana Zafra 2017-2018.



## CAPÍTULO 1

Diagnóstico sobre el estado actual del manejo de fertilizantes Tigma en el Departamento de Investigación, establecido en el Ingenio Santa Ana, Escuintla, Escuintla.



## 1.1 PRESENTACIÓN

Los usuarios que se dedican a un programa de fertilización de suelos deben de obtener distintos parámetros fisicoquímicos del suelo para tomar en cuenta la nutrición de la planta, como: textura y estructura, capacidad de intercambio catiónico, materia orgánica, acidez y alcalinidad, tipos de suelo según su pH y concentración de sales, dinámica de los nutrientes.

Tigsa es una empresa que se dedica a la producción y distribución de fertilizantes con un sistema personalizado que se adaptan a cada una de las necesidades del suelo y una región específica, con ayuda de AGROSAT®.

Dentro de la empresa Tigsa, se desarrolló una serie de investigaciones sobre diversos fertilizantes los cuales se evaluaron en el cultivo de caña de azúcar, para desarrollar estos ensayos se realizaron con ayuda del Ingenio Santa Ana ya que cuenta con un área dirigida a investigación la cual plantea y realiza diversas actividades para controlar ataques a estrés biótico y abióticos (Pacheco Alex 2017).

El diagnóstico se realizó en el mes de marzo del año 2017 estableciendo ensayos agrícolas en el cultivo de caña de azúcar. Recopilando, analizando datos y elaborando información sobre fertilizantes Tigsa y el cultivo de caña de azúcar.

## **1.2 OBJETIVOS**

### **1.2.1 Objetivo General**

Determinar el estado actual del manejo de fertilizantes Tigma, directamente de la línea Sfera y en el cultivo de caña de azúcar.

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

- A. Determinar las principales causas que limitan la producción de caña de azúcar en el Ingenio Santa Ana, Escuintla, Guatemala.
- B. Identificar actividades que permitan mejorar el proceso de producción de caña de azúcar basándose en una buena fertilización (Tigma)



## **1.3 METODOLOGÍA**

### **1.3.1 Características de los fertilizantes Tigma, línea Sfera**

Como promotor de investigación y desarrollo dentro de la empresa Tigma se realizaron una serie de actividades las cuales consisten en establecer ensayos con fertilizantes Tigma en el cultivo de caña de azúcar y así recopilar datos y analizarlos estadísticamente.

### **1.3.2 Recopilación de información sobre problemáticas que se encuentran dentro del Ingenio Santa Ana**

Para identificar el estado de las fincas que pertenecen al Ingenio Santa Ana (2017), se realizó una junta con coordinadores de investigación del Ingenio Santa Ana (Itzep F; Pec M. 2017) y la empresa Tigma (Pacheco, A. 2017). Se recolectaron diferentes análisis de suelo de cada una de las fincas a trabajar.

La información que se logró obtener fue necesaria para la empresa Tigma y el Ingenio Santa Ana, para dar el control necesario en cada finca.

## 1.4 RESULTADOS

### 1.4.1 Ubicación y descripción del área de estudio

El diagnóstico se efectuó con la empresa Tigma ubicada en 5 avenida 5-55 Zona 14 Torre 4 Oficina 402 Guatemala y ayuda del Ingenio Santa Ana ubicado en el estrato medio de la zona cañera de Guatemala con el departamento de investigación.

El estudio se realizó sobre la aplicación de fertilizantes Tigma ya que con su innovación se podrá obtener una mejora en algunas de las problemáticas que se manifiestan dentro del Ingenio Santa Ana descritos por los coordinadores de investigación.

### 1.4.2 Fertilizantes Tigma

Tigma es una empresa de fertilizantes que se dedica desde acondicionadores de suelo hasta potencializadores de cultivo, sus fertilizantes granulados se adaptan a necesidades específicas dependiendo de la región y cultivo. Existen diferentes líneas que pertenecen a la empresa, por el cual la línea a evaluar es Sfera.

Sfera es una línea de la empresa Tigma la cual posee acondicionadores de suelos y fertilizantes en presentación granulada que aportan elementos secundarios y microelementos en forma disponible a la planta, de los cuales se presentan en el cuadro 1.

Cuadro 1. Estado actual de los productos de la línea Sfera (Tigma)

Producto	Función	Ingredientes	Aplicación
Sfera 1	Acondicionador de suelo	Magnesio (MgO) 36 %	Manual / Mecanizada
Sfera 2	Acondicionador de suelo	Calcio (CaO) 25 % Magnesio (MgO) 15 %	Manual / Mecanizada
Sfera 3	Acondicionador de suelo	Azufre (SO <sub>4</sub> ) 10 % Calcio (CaO) 26 % Magnesio (MgO) 12 %	Manual / Mecanizada
Sfera 4	Acondicionador de suelo	Calcio (CaO) 22 % Magnesio (MgO) 14 % Zinc (ZnO) 2 % Boro (B <sub>2</sub> O) 0.6 %	Manual / Mecanizada
Sfera 5	Acondicionador de suelo	Azufre (SO <sub>4</sub> ) 24 % Calcio (CaO) 20 % Magnesio (MgO) 4 % Zinc (ZnO) 2 % Boro (B <sub>2</sub> O) 0.6 %	Manual / Mecanizada
Sfera S2	Acondicionador de suelo	Azufre (SO <sub>4</sub> ) 46 % Calcio (CaO) 29 %	Manual / Mecanizada

Sfera F4	Acondicionador de suelo	Calcio (CaO) 26 % Fosforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) 15 % Azufre (SO <sub>4</sub> ) 10 % Magnesio (MgO) 10 %	Manual / Mecanizada
Sfera F5	Acondicionador de suelo	Calcio (CaO) 28 % Fosforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) 10 % Magnesio (MgO) 10 % Azufre (SO <sub>4</sub> ) 7 % Boro (B <sub>2</sub> O) 0.6 %	Manual / Mecanizada
Sfera Z20	Acondicionador de suelo	Zinc (ZnO) 20 %	Manual / Mecanizada
Sfera B10	Acondicionador de suelo	Boro (B <sub>2</sub> O) 33 % Calcio (CaO) 9 %	Manual / Mecanizada
Sfera Sti	Acondicionador de suelo	sílice (SiO <sub>2</sub> ) 55 % Potasio (K <sub>2</sub> O) 5 % Calcio (CaO) 0.5 % - 1.5 % Magnesio (MgO) < 1.5 %	Manual / Mecanizada
Sfera Si	Acondicionador de suelo	Magnesio (MgO) 32 % Silicio (SiO <sub>2</sub> ) 30 %	Manual / Mecanizada

Fuente: Teuton Elemental, 2017

En el cuadro anterior se presenta el estado actual de los fertilizantes de la línea Sfera, la cual como promotora de investigación y desarrollo llegue a realizar evaluaciones que permitieron obtener resultados de producción en el cultivo de caña de azúcar y así poder llegar a demostrar los beneficios que presenta Tigma.

#### 1.4.3 Evaluaciones Tigma dentro del Ingenio Santa Ana.

Como evaluaciones se determinaron una serie de problemas que se muestran en el cuadro 2, las cuales fueron recolectadas tanto por coordinadores del Ingenio Santa Ana como de la empresa Tigma de la línea Sfera.

Cuadro 2. Características de las fincas evaluadas: La Niña, Llanes y California, dentro del Ingenio Santa Ana Escuintla, Guatemala.

Finca dentro del Ingenio Santa Ana	Problemas	Evaluación/ Proyecto
La Niña	Estrés biótico y abiótico. Plagas, enfermedades o factores climáticos.	Investigación <b>Evaluación de la aplicación de silicato de potasio y silicato de magnesio sobre la producción, en el cultivo de caña de azúcar (<i>Saccharum spp</i>). Finca La Niña, Ingenio Santa Ana, Escuintla.</b>
Llanes	Deficiencia de micronutrientes.	Servicio <b>Ensayo de un plan nutricional de micronutrientes</b>
California	Plaga de Barrenador ( <i>diatraea spp</i> )	Servicio <b>Evaluación del efecto de distintos niveles de Zinc para evaluar el comportamiento de barrenados de tallo (<i>Diatraea cambidoides</i>).</b>

Las principales causas que limitan la producción en el cultivo de caña de azúcar dentro del Ingenio Santa Ana se logran determinar en el cuadro anterior a través de la información entregada por el coordinador de investigación y el coordinador de plagas y enfermedades quienes priorizaron como limitantes más importante lo que son las deficiencias nutricionales del suelo (micronutrientes), las plagas y enfermedades colocando como número uno la plaga del Barrenador (*diatraea spp*) y por ultimo una necesidad de disminuir el estrés biótico y abiótico dentro del ingenio.

Estas limitantes se llegaron a plantear como evaluaciones Tigma las cuales presentar un manejo agronómico, el cual se muestra en el cuadro 3. Realizando una serie de actividades dependiendo del problema y finca que se llegaron a presentar y plantear (cuadro 2).

Cuadro 3. Manejo agronómico de la caña de azúcar en las fincas a evaluar: La Niña, Llanes y California, dentro del Ingenio Santa Ana Escuintla, Guatemala.

<b>Finca</b>	<b>Variedad de Caña de Azúcar</b>	<b>Fecha de siembra</b>	<b>Fecha de fertilización</b>	<b>Fertilizantes Tigma</b>
Llanes	CG 9878	16/06/2017	27/05/2017 05/08/2017	Sfera 5
California	CP 731547	Corte uno Diciembre/2016	21/03/2017	Sfera Z20
La Niña	CG 02163	Corte uno Abril/2017	29/05/2017	Sfera Sti Sfera Si Sfera Sti + P

## 1.5 CONCLUSIONES

- A. Los fertilizantes de Tigsa de la línea Sfera presentan una serie de productos que se adecuan a los problemas nutricionales o requerimiento en los cultivos de nuestro país. En el cultivo de caña de azúcar se logró determinar el manejo adecuado de los fertilizantes, los cuales se pueden mencionar: Sfera 5, Sfera Z20, Sfera B10, Sfera Sti, Sfera Si, Sfera Sti + probiótico y Sfera Si + probiótico. Estos productos tienen como función un acondicionamiento de suelo y su aplicación puede llegar a ser manual o mecanizada ya que es un producto granulado.

Los fertilizantes Tigsa que se utilizaran como resistencia al estrés biótico y abiótico dentro del Ingenio Santa Ana son: Sfera Sti, Sfera Si y Sfera Sti + probiótico con la finalidad de obtener los beneficios que ofrece el elemento de silicio (Si) y Sfera Z20 evaluando el comportamiento que existe entre el elemento de Zinc (Zn) con el Barrenador de tallo (*Diatraea cambidoides*).

- B. Las principales causas que limitan la producción de caña de azúcar en el Ingenio Santa Ana, fueron las deficiencias nutricionales del suelo (micronutrientes), las plagas y enfermedades colocando como número uno la plaga del Barrenador (*diatraea spp*) y por ultimo una necesidad de disminuir el estrés biótico y abiótico dentro del ingenio.
- C. Las evaluaciones que se establecieron en el cultivo de caña de azúcar dentro del Ingenio Santa Ana S.A. fueron: **Evaluación de la aplicación de silicato de potasio y silicato de magnesio sobre la producción** con los productos de Sfera Sti, Sfera Si y Sfera Sti + probiótico. **Ensayo de un plan nutricional de micronutrientes** evaluando el producto Sfera 5 y por último la **Evaluación del efecto de distintos niveles de Zinc para evaluar el comportamiento de barrenados de tallo (*Diatraea cambidoides*)** evaluando el producto de Sfera Z20.

## 1.6 BIBLIOGRAFÍA

1. Itzep Solares, FD. 2017. Tipos de fertilización de la caña de azúcar en el Ingenio Santa Ana, Escuintla, Guatemala (entrevista). Escuintla, Guatemala, Ingenio Santa Ana, Coordinador de Investigación.
2. Pacheco, A. 2017. Fertilizantes Tigma de la línea Sfera, Guatemala, Guatemala (entrevista). Guatemala, Guatemala.
3. Pec, M. 2017. Efecto de la aplicación de distintos niveles de Zinc para evaluar el comportamiento de barrenador del tallo (*Diatraea crambidoides*) en caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) en el lote 307 de la finca California del Ingenio Sant Ana (entrevista). Escuintla, Guatemala, Ingenio Santa Ana, Coordinador de plagas y enfermedades.
4. Stauder de Romero, N. 2010. Guía para diseñar programas efectivos de fertilización. Mixco, Guatemala. Soluciones analíticas 126 p.







## 2. CAPÍTULO II

### INVESTIGACIÓN

Evaluación de la aplicación de silicato de potasio y silicato de magnesio sobre la producción, en el cultivo de caña de azúcar (*Saccharum spp*). Finca La Niña, Ingenio Santa Ana, Escuintla, Guatemala C.A.



## 2.1 PRESENTACIÓN

La caña de azúcar es un cultivo altamente extractor de nutrientes del suelo y requiere considerables dosis de fertilización de macro y micronutrientes para suplir sus necesidades, debido a su elevada capacidad de producción de biomasa, que en peso fresco alcanza un valor cercano o superior a 100 T/ha, lo cual, asociado a la prolongada duración de su ciclo, implica una extracción de nutrientes del suelo de entre 800 kg/ha a 1,500 kg/ha por año.

Las gramíneas como la caña de azúcar son capaces de absorber grandes cantidades de Silicio (Si) y responden a las aplicaciones de este elemento en términos de rendimiento de caña de azúcar, por esta razón se realizara la aplicación de silicio (Silicato de Potasio y Silicato de Magnesio) con el fin de obtener mayor producción.

En Ingenio Santa Ana, la fertilización está basada en la aplicación de nitrógeno (UREA) con un porcentaje de 85 % y potasio (MAP) en un 10 % aplicándolo solamente en el año de siembra de caña de azúcar (Itzep Solares, FD. 2017), utilizando un programa único para la diversidad de suelo y ambiente. La inversión en nutrición es relativamente baja por lo cual se dirigen investigaciones en la búsqueda de un elemento que ayude en mejorar la producción y produzca sinergia con otros elementos como es el Silicio.

Dentro de los beneficios de aportar silicio dentro de un plan nutricional, se mencionan el incremento de resistencia al estrés biótico y abiótico de las plantas: reducción del ataque de insectos y enfermedades, reduce daños por heladas, aumenta el rendimiento y calidad de cosecha, resistencia a la sequía, aumenta fotosíntesis, neutraliza el efecto de los metales pesados, aumenta el crecimiento de raíces, aumenta el rendimiento y calidad de cosecha, retención de agua dentro de los tejidos, mejora la fertilidad de los suelos, tolerancia a la salinidad, reduce el efecto negativo de los excesos de Sodio, Aluminio, Hierro, Cobre, Manganeso, entre otros.

La investigación está enfocada a la aplicación de diferentes fertilizantes Tigma con base al elemento de Silicio y con dos diferentes dosis, con el fin de obtener las variables de número de tallo, diámetro, longitud de tallo y producción; así comprobar los beneficios que da este elemento benéfico. Los resultados obtenidos se analizaron en el programa estadístico INFOSTAT®, utilizando un análisis de varianza con un intervalo de confianza del 95 % y un nivel de significación del 5 %, mostrando que al aplicar silicio con diferentes dosificaciones en la Finca La Niña Zafra 2017-2018 no muestra ninguna diferencia significativa en ninguna de las variables biométricas ni en producción de T/ha. Sin embargo, una de las características que se muestran es que el tratamiento Sfera Sti 200 kg/ha (silicato de potasio) muestra en cada una de las variables uno de los mejores promedios y por esa razón muestra mayor promedio de toneladas métricas por hectárea de caña de azúcar.

## 2.2 MARCO TEÓRICO

### 2.2.1 Marco Conceptual

#### 2.2.1.1 Taxonomía de la caña de azúcar

La caña de azúcar pertenece a la familia de las gramíneas, concretamente al género *Saccharum*. (Díaz Montejo, LL; Portocarrero Rivera, ET: 2002)

- **Familia** *Poaceae* (Gramíneas)
- **Género** *Saccharum*
- **Especie** *Saccharum*

***Saccharum***: Está constituido por seis especies, cuatro domesticadas (*S. officinarum*, *S. edule*, *S. barberi*, *S. sinensis*) y dos silvestres (*S. spontaneum* y *S. robustum*). (Subirós Ruiz, F. 2000)

- **Nombre científico** *Saccharum officinarum*

***Saccharum officinarum***: Esta especie se conoce como caña noble, es reconocido por su gran cantidad de sacarosa, tallos gruesos, bajo contenido de fibras, altura mediana, hojas anchas que se desprenden fácilmente y susceptibles a enfermedades. (Subirós Ruiz, F. 2000)

#### 2.2.1.2 Historia de la caña de azúcar

Se considera India como primer centro de exportación de caña de azúcar. En el año de 1493 se logró introducir en España, Republica Dominicana y Haití luego de esto se trasladó a Cuba, Puerto Rico y México. (Subirós Ruiz, F. 2000)

Fue introducida en Guatemala por los Españoles y así las primeras plantaciones se desarrollaron en San Jerónimo Baja Verapaz, posteriormente se extendió al sur del país a los departamentos de Escuintla, Suchitepéquez, Retalhuleu, Santa Rosa y Sacatepéquez. (Díaz Montejo, LL; Portocarrero Rivera, ET: 2002)

#### 2.2.1.3 Ciclo de la caña de azúcar

Las fases que caracterizan al desarrollo del cultivo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) son las siguientes:

- **Brotación o germinación**: emergencia y establecimiento de la población inicial de tallos.
- **Macollaje**: determina el rendimiento que tendrá la caña de azúcar.

- **Crecimiento y maduración:** definición de la producción de azúcar. (Díaz Montejó, LL; Portocarrero Rivera, ET: 2002)

#### 2.2.1.4 Morfología de caña de azúcar

Las partes de las que se compone principalmente el cultivo de caña de azúcar son:

- **Raíces**

Su función es la absorción de agua, sales minerales, proporciona anclaje y almacenan materiales de reserva. (Subirós Ruiz, F. 2000)

**Raíces de la estaca original:** se originan a partir de la banda de las primeras raíces, localizadas en el anillo de crecimiento del trozo original (estaca) que se planta o siembra. (Díaz Montejó, LL; Portocarrero Rivera, ET: 2002)

**Raíces permanentes:** brotan de los anillos de crecimiento radical de los nuevos brotes. Son numerosas, gruesas y de rápido crecimiento. (Díaz Montejó, LL; Portocarrero Rivera, ET: 2002)

Los componentes que pueden afectar a la raíz, son los siguientes: La variedad, textura como los suelos de arcilla, componentes de suelo, disponibilidad de agua, niveles freático alto (Subirós Ruiz, F. 2000)

- **Tallo**

Es una de las partes más importantes de la caña de azúcar ya que dentro de esta se almacenan los azúcares. Los tallos están conformados por nudos que separan los entrenudos en los que se logran desarrollar las yemas y hojas. A lo largo de los entrenudos se encuentran partes sólidas (fibras) y partes líquidas (agua y sacarosa).

#### Las partes del tallo

- Nudo: parte de donde nacen las hojas.
- Cicatriz foliar: cicatriz que deja la hoja por fenómenos naturales de senescencia.
- Zona radicular: se encuentra entre los anillos de crecimiento y cicatriz foliar.
- Anillo de crecimiento: permite el crecimiento de los entrenudos.
- Banda cerosa: es una cera que depende de la variedad y de cambio climático, mientras la época sea seca la cera aumenta.
- Yema: es utilizado como material de reproducción del cultivo.

(Subirós Ruiz, F. 2000)

- **Hoja**

La hoja se origina de los nudos de tallo y está distribuida en forma alterna a lo largo de los tallos a medida que este crece. (Díaz Montejo, LL; Portocarrero Rivera, ET: 2002)

Este órgano es fundamental para llevar a cabo la fotosíntesis, respiración celular, transpiración, intercambio gaseoso. Procesos inversos como lo es la respiración, energía almacenada y procesos metabólicos. (Subirós Ruiz, F. 2000)

### Las partes de la hoja

- Lámina: de esta depende la capacidad de realizar la fotosíntesis.
- Nervadura central: estructura que recorre en medio de la lámina y es conocida como vena central.
- Vaina: conocido por su capacidad de soporte a la lámina foliar. Cuando se llega a cosecha es necesario desprender con el fin de que la materia no deseable llegue a ingenio para obtener sacarosa sin impurezas.
- Lígula: apéndice membranoso.
- Aurícula
- Flor

La inflorescencia de la caña de azúcar es una panícula sedosa que forma una espiga. Esta se localiza en el eje principal con articulaciones donde se inserta las espiguillas. (Díaz Montejo, LL; Portocarrero Rivera, ET: 2002)

### 2.2.1.6 Requerimientos climáticos

- **Temperatura:** se ubica entre los 27 °C y 33 °C.

La temperatura afecta procesos como el de la floración. En las zonas más calientes, la floración es mucho mayor. (Díaz Montejo, LL; Portocarrero Rivera, ET: 2002)

No solo se debe tomar en cuenta la temperatura ambiental, sino también la temperatura del suelo que debe de estar alrededor de 27 °C. (Ruiz F. 2000)

- **Precipitación:** se requiere de 1200 mm a 1500 mm anuales, distribuidos de la mejor forma posible durante el periodo vegetativo. La demanda aumenta en relación con el crecimiento de la planta, debido al incremento de la transpiración. (Díaz Montejo, LL; Portocarrero Rivera, ET: 2002)
- **Radiación:** las longitudes de ondas para realizar correctamente la fotosíntesis esta entre 400 nm – 700 nm. (Subirós Ruiz, F. 2000)

La caña de azúcar posee un sistema fotosintético C<sub>4</sub> capaz de fijar la luz de manera más eficiente. Cuanta mayor radiación exista, mayor será la eficiencia fotosintética, y estos también están relacionados con la producción y la acumulación de carbohidratos. (Díaz Montejo, LL; Portocarrero Rivera, ET: 2002)

- **Viento:** no debe de superar a los 40 km/hora, ya que reduce el rendimiento de caña. (Subirós Ruiz, F. 2000)

### 2.2.1.7 Requerimientos edáficos

El cultivo se puede desarrollar en los tipos de suelo con una estructura desde arcillosa hasta completamente orgánica, sin embargo no tiene un presenta un buen desarrollo. (Subirós Ruiz, F. 2000)

Es aconsejable que la textura sea franco arcilloso, franco arenosa o limosa, con buena estructura y capacidad de retención de humedad, pero a la vez, friable, con un horizonte profundo, sin problemas de drenaje y salinidad, características que deben permanecer al en los primeros 50 cm del suelo. (Díaz Montejo, LL; Portocarrero Rivera, ET: 2002)

### 2.2.1.8 Variedad de caña de azúcar

En el Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar (Cengicaña), se observó que en los en la zafra 2015-2016 las variedades más sobresalientes fueron: **CP72-2086**, CP73-1547, CP88-1165 y CG98-78 (Gándara N. 2016).

#### Variedad CP 72-2086

La variedad más cultivada en Guatemala es **CP 72-2086** con un porcentaje de 33.2 %. Esta variedad surge de la cruce de las variedades CP62-374 X CP63-588. Sus principales aspectos son:

- Hábito de crecimiento de tallos semi-erecto, poco deshoje natural y cantidad de follaje.
- Los entrenudos son de color verde amarillento con manchas negras, forma de crecimiento cilíndrico.
- Yema redonda con alas, de base angosta y anillo de crecimiento protuberante.
- vaina color rosado, quebradizo por el centro y presencia de afate intermedio. Su desprendimiento es intermedio
- Lamina foliar es con borde aserrado.
- Aurícula ascendente, lígula generalmente deltoides con rombo.
- El cuello es de color café y con superficie semi-lisa.
- Incidencia alta a Mosaico, Raya Roja y Amarillamiento Foliar. (Consuegra C. 2014)

### **Variedades CP73-1547**

Surge de la cruce de las variedades CP66-1043 \* CP56-63. Dentro de las características principales:

- Regula el deshoje natural, hábito de crecimiento de tallos semi-abiertos, regular cantidad de follaje y cogollo largo.
- Los entrenudos son color verde amarillento con manchas negras, su forma de crecimiento ligeramente curvado en zigzag cicatriz foliar ligeramente abultada.
- Nudo con forma de crecimiento cilíndrico, yema aproximadamente redonda protuberantes con alas, anillo de crecimiento semi-liso.
- Vaina color verde con manchas rojizas, borde seco unido longitudinalmente, presencia de afate intermedio. Desprendimiento intermedio
- Hojas anchas verde oscuro.
- Aurícula forma lanceolada larga y corta en un lado y en el otro transicional inclinada, lígula deltoides con rombo.
- Cuello color verde oscuro, Superficie la mayoría lisa.
- Incidencia baja a Escaldadura y Carbón. (Consuegra C. 2014)

### **Variedad CP88-1165**

Surge de la cruce de las variedades CL61-620 X CP81-1302. Dentro de las características principales:

- Regular deshoje natural, hábito de crecimiento de tallos semi-erectos y follaje escaso.
- Entrenudos de color rojizo, forma de crecimiento curvado ligeramente en zigzag, posee un canal en el lado de la yema en todo el largo del entrenudo, todos los tallos se rajan.
- Nudo con forma de crecimiento obconoidal en el lado opuesto de la yema, yema ovalada con alas, anillo de crecimiento semi-liso.
- Vaina de color verde con manchas moradas y rojas, poca presencia de afate. Regular desprendimiento
- Lamina foliar con borde semi-liso.
- Aurícula forma lanceolada larga y corta en la misma vaina, lígula creciente lineal.
- Cuello de color verde oscuro, superficie lisa.
- La mayoría de tallos se rajan, la mayoría de vainas se concentran en un solo lado y puede presentar síntomas de amarillamiento foliar. (Consuegra C. 2014)



### 2.2.1.9 Nutrientes de la caña de azúcar

Los nutrientes son elementos o compuestos inorgánicos simples que el cultivo necesita para su desarrollo. Al aplicar correctamente estos elementos pueden llegar a mejorar el cultivo de caña de azúcar y en esto juega un papel muy importante la fertilización. Los nutrientes se clasifican en dos grandes grupos los macronutrientes (N, P, K, Ca, S y Mg) y en micronutrientes (Zn, B, Fe, Mo, Cu, Mn, Cl). (Seanz E. 2014)

En la zona cañera del sur de Guatemala, la fertilización se realiza con base a la fase de desarrollo. En la fase inicial los requerimientos son bajos sin embargo al iniciar con la formación radicular y la parte aérea las necesidades incrementan, dentro de los nutrientes que aplican con mayor enfoque son: Nitrógeno, Potasio, Fósforo. (Seanz E. 2014)

- **Nitrógeno**

Es uno de los elementos que contribuyen más al cultivo de caña de azúcar, este se logra absorber a través de las raíces en forma de  $\text{NO}_3$  o  $\text{NH}_4$ . De las características más importantes que se destacan por la aplicación de este elemento son: número de tallo, crecimiento vegetativo, peso y rendimiento de caña y azúcar por hectárea. (Romero ER; Digonzelli PA; Scandaliaris J. 2009.)

- **Fosforo**

Es uno de los elementos que participan en la fotosíntesis, respiración y absorción de los nutrientes, desarrollo radicular, brotación de tallo, crecimiento vegetativo y cantidad de tallos molederos. La falta de este elemento dentro del cultivo de caña de azúcar afecta principalmente en que existen más número de tallo mamones que tallos molederos. (Romero ER; Digonzelli PA; Scandaliaris J. 2009.)

- **Potasio**

Este elemento es decisiva en la fotosíntesis, respiración, translocación de azúcares, la acumulación de sacarosa y en el crecimiento, desarrollo de raíces y ayuda a que la caña de azúcar llegue a presentar tolerancia a las plagas y enfermedades. (Romero ER; Digonzelli PA; Scandaliaris J. 2009.)

### 2.2.1.10 Elemento Silicio

El silicio se define como: “un elemento que estimula el crecimiento de algunas plantas, por lo que es considerado como benéfico”. (Labrador C. 2007)

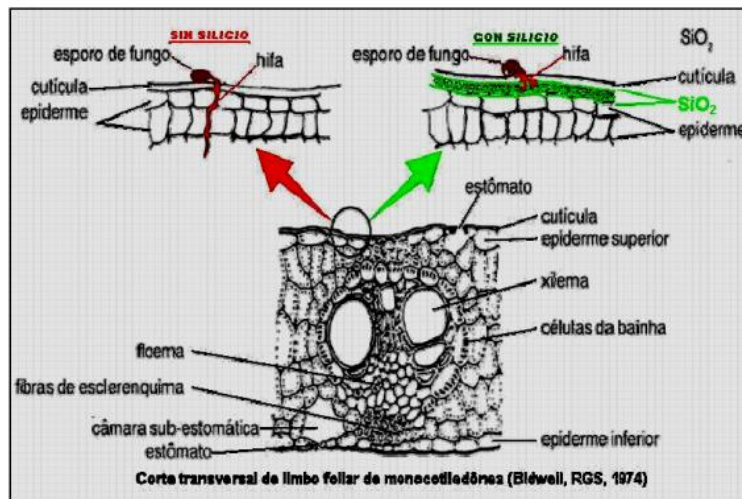
El silicio es combinado con el oxígeno formando el dióxido de silicio ( $\text{SiO}_2$ ), sin embargo, de esta manera no es asimilable para la planta. Para que el Si sea asimilable el dióxido de silicio ( $\text{SiO}_2$ ) debe de estar en estado amorfo, este se encuentra en cantidades altas dentro del agua y el Silicio. (Labrador C. 2007)

El dióxido de silicio ( $\text{SiO}_2$ ) al hidrolizarse con el agua forma ácido mono-silícico ( $\text{H}_4\text{SiO}_4$ ) y este logra ser absorbido por la planta (Labrador C. 2007). Dentro de los beneficios de aportar silicio dentro de un plan nutricional, se mencionan los siguientes:

- **Incremento de pared celular**

La pared celular es una barrera que debe de ser rota para tener acceso a la parte interna del tallo, al aplicar silicio se activa una barrera que es un refuerzo dentro de la pared celular, incrementando la resistencia mecánica del tejido a infección de esporas y al ataque de insectos (Labrador C. 2007). Esa barrera se deposita en la capa epidérmica como podemos observar en la figura 1.

Mientras más fuerte sea la barrera que ocasiona el Silicio en la pared celular, más resistente es al estrés. El estrés está relacionado con la sequía, heladas, plagas o enfermedades. (Labrador C. 2007)



Fuente: SEPHU, 2007.

Figura 1. Silicio en las paredes de las células epidérmicas

Dentro de los beneficios que se destacan por el incremento de pared celular

- Reducción del ataque de insectos y enfermedades
- Reduce daños por heladas
- Aumenta el rendimiento y calidad de cosecha

- Resistencia a la sequía
- Incremento de resistencia al estrés biótico y abiótico de las planta

- **Aumenta fotosíntesis**

La hoja funciona como un panel solar, esencialmente capturar el CO<sub>2</sub> gaseoso a través de sus partes inferiores, mientras mejor localizadas se encuentren nuestras hojas mucho mejor será la captación de: luz solar, agua y CO<sub>2</sub>. Al incluir Silicio la planta favorece al tallo, teniendo una buena posición. (Labrador C. 2007)

Los minerales y nutrientes son trasportados por la planta a través de floema y xilema, estas rutas están hechas de Silicio. Al momento que el Silicio esté ausente es afectado el funcionamiento del floema y xilema. (Labrador C. 2007)

Otros beneficios de Silicio dentro de la planta, se pueden mencionar:

- Neutraliza el efecto de los metales pesados
- Reduce el efecto negativo de los excesos de Sodio, Aluminio, Hierro, Cobre, Manganeso, etc.
- Aumenta el crecimiento de raíces
- Aumenta el rendimiento y calidad de cosecha
- Retención de agua dentro de los tejidos
- Mejora la fertilidad de los suelos
- Tolerancia a la salinidad

#### **2.2.1.11 Deficiencia de Silicio**

El silicio no está incluido dentro de los elementos esenciales, sin embargo, algunas plantas han manifestado efectos perjudiciales si no se aplica silicio. Algunos de los efectos que se pueden observar es el desarrollo anormal de la floración (tomate, pepino o fresa), deformación de fruto y en algunos casos existe probabilidad que adquiera toxicidad por Manganeso, Cobre o Hierro. (Piedrahíta O. 2008)

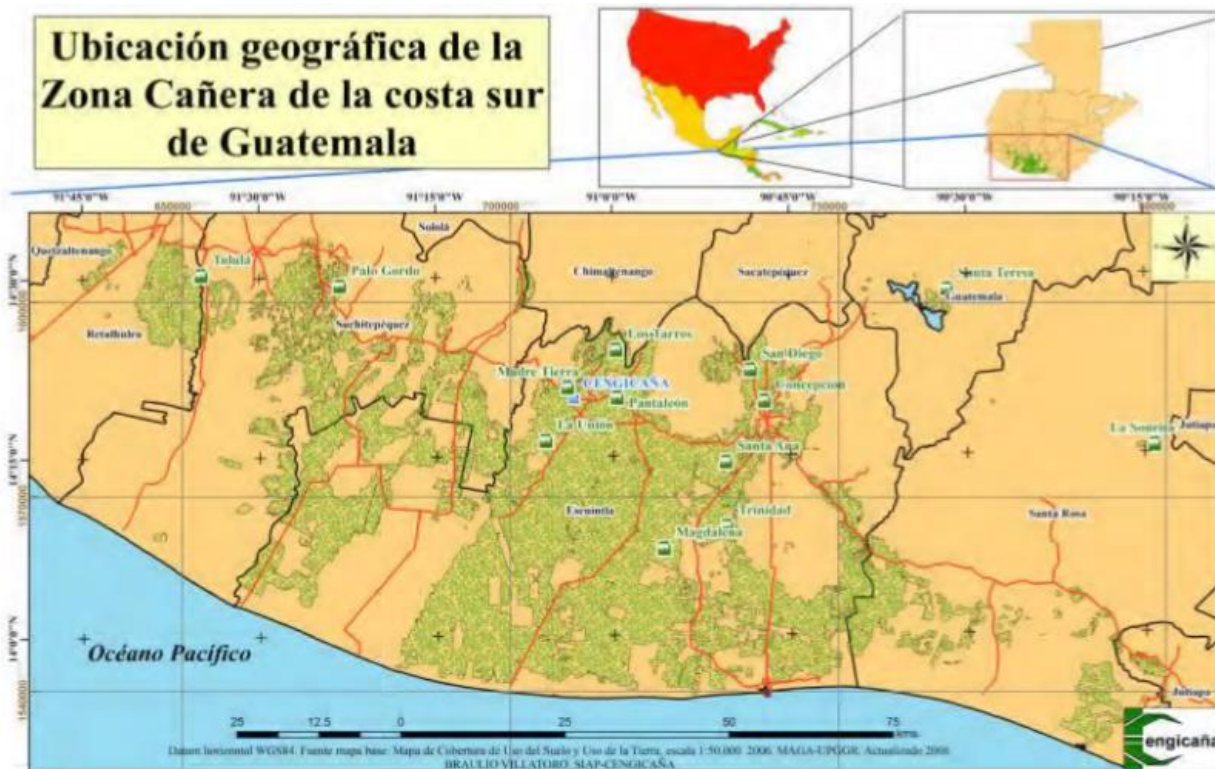
#### **2.2.1.12. Toxicidad de Silicio**

Cuando existe un exceso de silicio ocasiona una competencia con la absorción de otros nutrientes, existe en algunos otros casos una deformación. (Piedrahíta O. 2008)

## 2.2.2 Marco Referencial

### 2.2.2.1 Ubicación geográfica de la zona cañera de costa sur, Guatemala

La zona cañera guatemalteca tiene una extensión aproximada 213,327ha (Gándara Natiana 2016). La zona cañera de la costa sur de Guatemala se encuentra ubicada entre las coordenadas geográficas 91°50'00" - 90°10'00" Longitud Oeste y 14°33'00" - 13°50'00" Latitud Norte. Está localizada en los departamentos de Retalhuleu, Suchitepéquez, Escuintla, Santa Rosa y actualmente se está expandiendo hacia el departamento de Jutiapa. La ubicación se presenta en la figura 2. (CENGICAÑA 2011)



Fuente: CENGICAÑA, 2011.

Figura 2. Ubicación geográfica de la zona cañera de la costa sur de Guatemala.

### 2.2.2.2 Localización y descripción de finca La Niña

El área de estudio se encuentra en las coordenadas 14°10' 14.2" latitud norte y 90°52' 19.6" longitud oeste. Ubicada en la finca La Niña, Ingenio Santa Ana, Masagua, Escuintla (figura 3).

La finca está distribuida en porciones llamadas Pante<sup>1</sup> (figura 4). El pante en que se estableció el ensayo es 101 ya que este presenta áreas homogéneas.

- **Masagua, Escuintla**

#### Clima

La zona cañera de Guatemala se ha dividido en cuatro estratos, con base en su posición altitudinal expresada en metros sobre el nivel del mar (m s.n.m.). Finca La Niña ubicada en el municipio de Masagua se encuentra en el estrato medio (figura 6) que se encuentra entre 100 m - 300 m s.n.m. con las características presentadas en el cuadro 4. (CENGICAÑA 2011)

Cuadro 4. Características climáticas de Masagua, Escuintla (finca La Niña).

Extractó	Altitud (m s.n.m.)	PP (mm/año)	Temperatura (°C)			Radiación Solar (MJ/m <sup>2</sup> /día)	Velocidad media de viento (km/h)
			Mínima	Media	Máxima		
Medio	100-300	3700	20.5	26.7	32.2	17.3	6.8

Fuente: CENGICAÑA, 2011.

<sup>1</sup> Hace referencia a un lote, parte, porción, ración, partición, fracción, cuta de una finca.



Fuente: CENGICAÑA, 2011.

Figura 3. Estratos altitudinales de la zona cañera. Masagua, Escuintla Guatemala.



Fuente: Ingenio Santa Ana, 2017.

Figura 4. Distribución de los pantes en la finca La Niña, Ingenio Santa Ana. Masagua, Escuintla, Guatemala.

Existen dos tipos de estaciones con respecto a la lluvia

Época lluviosa: ocurre en los meses de mayo y octubre. En junio y septiembre se logra registrar mayor precipitación, sin embargo existe un periodo de canícula de 15 días entre julio y agosto. (CENGICAÑA 2011)

Época no lluviosa: ocurre en los meses de octubre y mayo, estos son considerados como el periodo de zafra. (CENGICAÑA 2011)

## **Suelo**

En la zona cañera existen seis órdenes de suelo, nueve subórdenes, 13 grupos, 25 subgrupos y 37 familias. Los tipos de ordenes son: Mollisoles, Andisoles, Entisoles, Inceptisoles, Alfisoles y Vertisoles. (CENGICAÑA 2011)

La ubicación de las diferentes regiones se puede observar en la figura 5. Masagua se encuentra ubicada en la zona media que se caracteriza con el orden de Andisoles. (CENGICAÑA 2011)

**Andisoles:** predominan en las zonas altas y medias de la región, son suelos poco evolucionados derivados de ceniza volcánica, oscuros, con altos contenidos en materia orgánica y de baja densidad aparente y consistencia friable a suelta. (CENGICAÑA 2011)

Estos suelos tienen excelentes propiedades físicas con texturas francas y franco arenosas. Desde el punto de vista químico, tienen ciertas limitaciones como la alta retención de fosfatos y sulfatos. (CENGICAÑA 2011)





Fuente: CENGICAÑA, 2011.

Figura 5. Mapa de clasificación de suelos de la zona cañera del sur de Guatemala.

### 2.2.2.3 Variedad SP 71-6161

Resistencia adecuada a carbón, escaldadura foliar, roya marrón, roya naranja y amarillamiento foliar. (CENGICAÑA 2017)

La tolerancia varietal por el efecto a herbicidas, no presenta daño a la aplicación de: Amicarbazone, Indaziflam, Hexazinona, Diuron, Terbutrina, Ametrina, Acetoclor, Imazapir, Pendimetalina o Saflufenacil. (CENGICAÑA 2017)

#### Forma de madurante

La dosis es la recomendada a estudios de campo con mayor probabilidad de respuesta (cuadro 5). Esta dosis no está asociada a si puede presentar daños en rebrote o no, pues eso depende también de otros factores como tipo de suelo y humedad, desarrollo del cultivo en el momento de la aplicación y mes de cosecha. (CENGICAÑA 2017)

Cuadro 5. Recomendación de madurante de la variedad SP 71-6161, en Guatemala.

Variedad	Producto	Dosis/ cm <sup>3</sup> /tc/ha	Semanas Maduración	Susceptibilidad	Observaciones
SP71- 6161	RoundUp 35.6 SL	1.2	5 a 6	NO	Responde más a Moddus en concentración de azúcar, pero el rebrote puede atrasar su crecimiento.
	Moddus 25 EC	1	7 a 8	SI	

Fuente: CENGICAÑA, 2017.

## **2.3 OBJETIVOS**

### **2.3.1 Objetivo General**

Evaluar el efecto de la aplicación de silicato de potasio y silicato de magnesio en el cultivo de caña de azúcar, finca La Niña, Ingenio Santa Ana, Escuintla.

### **2.3.2 Objetivos Específicos**

- A. Evaluación del efecto de la aplicación de silicatos en caña de azúcar sobre las variables biométricas: número de tallo, diámetro y longitud de tallo.
- B. Determinar la producción de toneladas de caña por hectárea por mes en los tratamientos con aplicación de silicio versus tratamiento sin aplicación de silicio (testigo).

## **2.4 HIPÓTESIS**

La aplicación de Silicio generara efectos positivos en la producción y las variables biométricas (número de tallo, longitud de tallo, diámetro).

## 2.5 METODOLOGÍA

### 2.5.1 Método Experimental

#### 2.5.1.2 Modelo Estadístico

Se estableció un ensayo con diseño experimental de Bloques Completos al Azar (DBCA), “el diseño es en bloques completos porque en cada bloque aparecen todos los tratamientos, y al azar porque dentro de cada bloque los tratamientos son asignados a las parcelas en forma aleatoria. Todas las parcelas de un mismo bloque tienen la misma probabilidad de recibir cualquiera de los tratamientos”. El modelo de Bloques Completos al Azar es:

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

Dónde:

$\mu$  = Parámetro, efecto medio

$\tau_i$  = Parámetro, efecto del tratamiento  $i$

$\beta_j$  = Parámetro, efecto del bloque  $j$

$\varepsilon_{ij}$  = valor aleatorio, error experimental de la unidad experimental  $i, j$

$Y_{ij}$  = Observación en la unidad experimental

#### 2.5.1.2 Unidad Experimental

La unidad experimental se distribuyó en (figura 8)

- Tratamientos: 7
- Repeticiones: 4
- Largo de surco: 8 m
- Ancho: 5 surcos (1.5 m distanciamiento)
- Tamaño de unidad experimental: 60 m<sup>2</sup>
- Tamaño de tratamiento: 240 m<sup>2</sup>
- Tamaño de experimento: 1680 m<sup>2</sup>

### 2.5.1.3 Tratamientos

Se estableció un ensayo con diseño experimental de Bloques Completamente al Azar con la siguiente descripción de tratamientos, mostrando en el cuadro 6.

Cuadro 6. Tratamientos y dosis de SiO<sub>2</sub> aplicado en la finca La Niña (Pante 101), Ingenio Santa Ana, Masagua. Guatemala.

No.	TRATAMIENTOS	Fertilizante Tigma	DOSIS kg/ha	OBSERVACIONES
1	Silicato de Potasio (55 % de SiO <sub>2</sub> )	Sfera Sti	150	La aplicación de Silicio se realizó a 15 cm del surco de siembra de forma mecanizada. Más la aplicación de N en forma de Urea (100 kg/ha)
2	Silicato de Magnesio (30 % de SiO <sub>2</sub> )	Sfera Si	150	
3	Silicato de Potasio (55 % de SiO <sub>2</sub> )	Sfera Sti	200	
4	Silicato de Magnesio (30 % de SiO <sub>2</sub> )	Sfera Si	200	
5	Silicato de Potasio + probiótico (70 % de SiO <sub>2</sub> )	Sfera Sti + probiótico	150	
6	Silicato de Potasio + probiótico (70 % de SiO <sub>2</sub> )	Sfera Sti + probiótico	200	
7	Testigo Relativo	-	0	

- **Silicato de Potasio**

Fuente de silicio termo-activo apropiado para mejorar la fertilidad del suelo y proporcionar a la planta condiciones para tolerar el estrés biótico y abiótico.

#### Características físico-químicas:

Sílice (SiO <sub>2</sub> ):	55 %
Potasio (K <sub>2</sub> O):	5.0 %
Calcio (CaO):	0.5 % - 1.50 %
Magnesio (MgO):	< 1.50 %

#### Granulo

Granulometría uniforme: el tamaño de las partículas en un 90 % comprendido entre 4 mm – 2 mm es ideal para mezcla física y facilita la aplicación al suelo de forma manual.

- **Silicato de Magnesio**

Enmendador de suelos y fuentes de sílice y magnesio

**Características físico-químicas**

Magnesio (MgO):	32.00 %
Silicio (SiO <sub>2</sub> ):	30.00 %

**Granulo**

Granulometría uniforme color café: el tamaño de las partículas en un 90 % comprendido entre 1 mm – 4 mm, su solubilidad es en 12 g/L.

**2.5.1.4 Distribución de los tratamientos y repeticiones**

En el figura 6 se presenta la distribución de los tratamientos y sus repeticiones dentro del pante 101 ubicado en la finca La Niña del Ingenio Santa Ana.



	T3		T7		T4		T7	
2.5m de calle entre parcela								
	T4		T2		T6		T6	
2.5m de calle entre parcela								
	T1		T6		T3		T5	
2.5m de calle entre parcela								
	T7		T5		T1		T4	
2.5m de calle entre parcela								
	T6		T3		T5		T3	
2.5m de calle entre parcela								
	T5		T1		T2		T2	
2.5m de calle entre parcela								
Surco muerto	T2	Surco muerto	T4	Surco muerto	T7	Surco muerto	T1	Surco muerto
	BLOQUE 1		BLOQUE 2		BLOQUE 3		BLOQUE 4	

8m de altura

Cinco surcos

Un surco

Fuente: Ingenio Santa Ana, 2017.

Figura 6. Distribución de los tratamientos y repeticiones dentro del pante 101 de la finca La Niña, Ingenio Santa Ana, Masagua, Escuintla, Guatemala.

### 2.5.1.5 Variables a medir en el campo

Se localizaron dos metros lineales en el centro de cada unidad experimental, donde se seleccionaron 10 tallos molederos aleatoriamente de los cuales se obtuvieron las siguientes variables:

- **Número de tallos por metro lineal (población)**

Se cuantificaron los tallos molederos (metro lineal) nueve meses después de la fertilización (febrero 2018).

- **Diámetro de tallo**

Se midió con ayuda de un vernier a la altura de segundo, sexto y noveno entrenudo de cada tallo, esto se tomara de la parte inferior para la superior. La toma de datos se realizó en los meses de septiembre, octubre y noviembre 2017.

- **Longitud de tallo**

Se midió con ayuda de cintra métrica, desde la base hasta la última hoja con lígula visible u hoja TVD. La toma de datos se realizó en los meses de julio, agosto, septiembre, octubre y noviembre 2017.

- **Producción**

Cada unidad experimental se cosecho para obtener la producción de T/ha. Se realizó en el mes de abril 2018.

### 2.5.1.6 Análisis de información

Con el programa Microsoft Excel®, se logró mostrar una salida de datos y gráficas las cuales nos indican que tanto varían los datos según la media general respecto a cada variable a medir dentro del campo.

Para analizar los datos se realizó un ANDEVA con la ayuda del software estadístico INFOSTAT® el cual muestra una salida con datos como el cv que nos indica que tanto varían los datos con respecto a la media general, un valor de R<sup>2</sup> que nos indica que tanto se ajusta el modelo de los datos analizados a la realidad, así como también el valor de P que de ser menor a 0.05 indicaría que existe diferencia significativa entre los tratamientos evaluados, es decir, que al menos uno de todos los tratamientos será diferente.



De presentarse diferencias estadísticas, se procederá a realizar un post-ANDEVA con la prueba LSD Fisher el cual nos permitirá distinguir el tratamiento a los tratamientos que son estadísticamente diferente ya sea con mayores o menores producciones de caña de azúcar.

## **2.5.2 Manejo del experimento**

### **2.5.2.1 Área experimental**

El área experimental se localiza en el pante 101, finca La Niña. Ingenio Santa Ana, Masagua, Escuintla. La cual muestra las siguientes características:

- Textura de suelo: franco arenoso
- pH: 6.4
- Materia Orgánica: 3.65
- Soca: uno
- Riego
  - Tipo de riego: aspersión
  - Eficiencia: 70 %
  - Total de riego: 6
  - Total de lámina: 381

### **2.5.2.2 Preparación de área experimental**

La fertilización granulada Tigsa se realizó a los 30 días después de la cosecha de forma mecanizada.

## 2.6 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 2.6.1 Número de tallo

El cuadro 7, presenta el número de tallos molederos promedio por metro lineal de cada tratamiento. Los resultados que se muestran se recolecto a los 253 días después de la fertilización (15/02/2018).

Cuadro 7. Número de tallos molederos por metro lineal en la evaluación de la aplicación de silicato de potasio y silicato de magnesio sobre la producción, en el cultivo de caña de azúcar (*Saccharum spp*), finca La Niña, Ingenio Santa Ana, Escuintla.

TRATAMIENTO	Número de tallo molederos (metro lineal)
Sfera Sti 150kg/ha	13
Sfera Si 150kg/ha	15
Sfera Sti 200kg/ha	16
<b>Sfera Si 200kg/ha</b>	<b>17</b>
Sfera Sti + p 150kg/ha	14
Sfera Sti + p 200kg/ha	13
Testigo	13

Se realizó un análisis de varianza con un intervalo de confianza de 95 % y un nivel de significación del 5 %, el cual muestra que no existe diferencia significativa entre tratamientos con respecto a población, como se muestra en el cuadro 8.

Cuadro 8. Análisis de varianza de población en metro lineal.

Variable	N	R2	R2 Aj	CV
<b>POBLACIÓN</b>	28	0.34	0.01	26.21

F.V.	SC	gl	Cm	F	p-valor
<b>Modelo.</b>	126.86	9	14.10	1.02	0.4638
<b>TRATAMIENTOS</b>	56.71	6	9.45	0.68	<b>0.6671</b>
<b>BLOQUES</b>	70.14	3	23.38	1.68	0.2059
<b>Error</b>	249.86	18	13.88		
<b>Total</b>	376.71	27			

La variable de número de tallo moledero, no presento estadísticamente una diferencia significativa (cuadro 5), el cual fue cosechado en el mes de abril 2018, sin embargo, el tratamiento que presento mayor número de tallo por metro lineal fue el tratamiento Sfera Si 200 kg/ha con un promedio de 17 tallos molederos por metro lineal.

Teniendo un aumento de 30 % sobre el tratamiento testigo que en este caso es la forma convencional de plan de fertilización en el Ingenio Santa Ana.

En la figura 7, se muestra un comparativo de tallos molederos por metro lineal entre los tratamientos evaluados, mostrando que el tratamiento Sfera Si 200 kg/ha tiene mayor cantidad de tallos molederos por metro lineal.

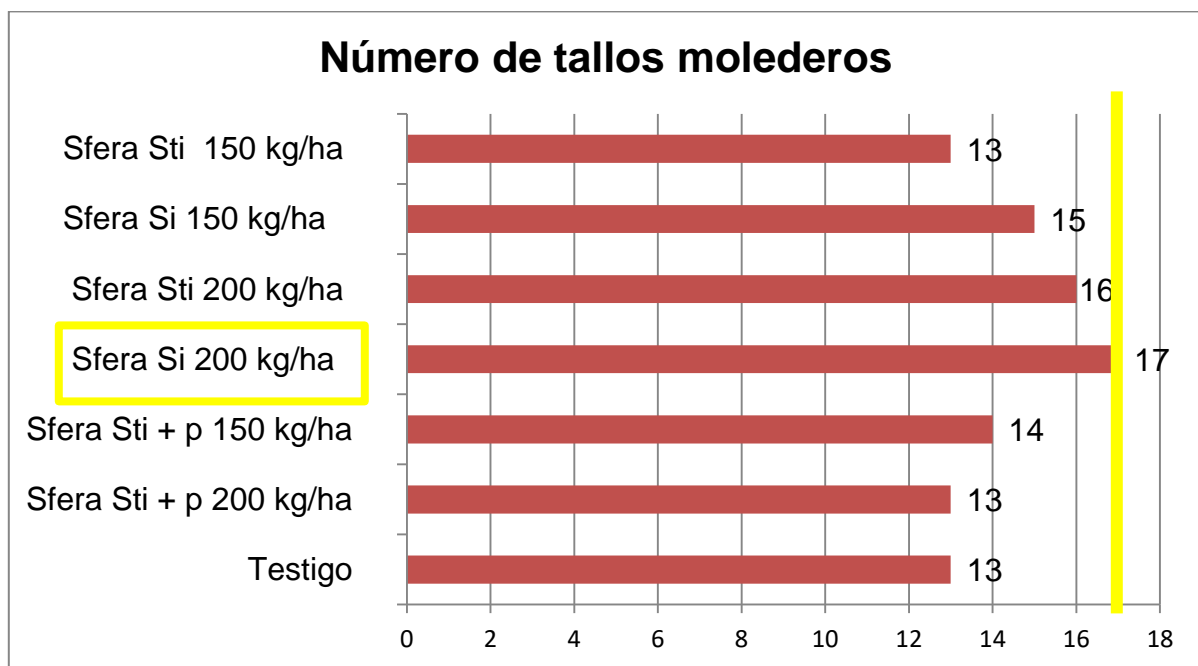


Figura 7. Número de tallo moledero por metro lineal, en la evaluación de la aplicación de silicato de potasio y silicato de magnesio sobre la producción, en el cultivo de caña de azúcar (*Saccharum spp*), finca La Niña, Ingenio Santa Ana, Escuintla.

Los resultados del figura anterior, muestra que el tratamiento Sfera Sti 200 kg/ha tiene un aumento del 30 % de tallos molederos más con respecto al tratamiento testigo, según estudio realizado por Camacho OA; Cerdá Subirachs JM; Sanchho Ditlel S; Hernandez Perez R. 2013, muestran que no existe diferencia significativa estadísticamente cuando existe un manejo experimental igual, sin embargo, ellos determinan que la fertilización con silicio muestra una favorable asimilación lo cual lo convierte en una fuente de este elemento biodisponible y competitiva con otras alternativas, que en este caso se logra mostrar por el aumento de tallo moledero.

De los motivos por los se puede llegar a establecer que la aplicación de Silicio no llego a presentar una diferencia significativa entre tratamientos con respecto a la variable biométrica de número de tallo moledero por metro lineal son:

- La finca La Niña se caracteriza por tener las características climáticas (cuadro 1) casi idénticas a las que requiere el cultivo de caña de azúcar en el periodo de zafra 2017-2018
- No se llegó presentar mayor porcentaje de estrés biótico o abiótico en la zona de estudio, periodo zafra 2017-2018.
- El tipo de suelo es franco arcilloso siendo este el que permite un desarrollo favorable para el cultivo de caña de azúcar, teniendo disponibilidad de los elementos esenciales para la planta.

Por esta razón se puede llegar a determinar que la aplicación de silicio no generara efectos positivos en la variable biométrica de número de tallos molederos.

Por tanto se establece que aplicar silicio en la finca La Niña zafra 2017-2018 con condiciones abióticas y bióticas favorables y un manejo experimental adecuado no muestra una diferencia estadísticamente entre cada tratamiento.

## 2.6.2 Diámetro de tallo moledero

En el cuadro 9, se muestra los promedios de cada entrenudo (segundo, sexto y noveno) obtenidos en el mes de noviembre 2017 con el fin de obtener el tratamiento con mayor grosor de tallo (crecimiento celular).

Cuadro 9. Diámetro del segundo, sexto, noveno, longitud de tallo (mm); en la evaluación de la aplicación de silicato de potasio y silicato de magnesio sobre la producción, en el cultivo de caña de azúcar (*Saccharum spp*), finca La Niña, Ingenio Santa Ana, Escuitla

TRATAMIENTO	Segundo Entrenudo (mm)	Sexto Entrenudo (mm)	Noveno Entrenudo (mm)	DIÁMETRO (mm)
Sfera Sti 150 kg/ha	19.58	19.68	18.78	19.35
Sfera Si 150 kg/ha	20.25	20.20	19.63	20.03
<b>Sfera Sti 200 kg/ha</b>	<b>20.58</b>	<b>20.53</b>	<b>19.45</b>	<b>20.19</b>
Sfera Si 200 kg/ha	19.80	19.95	19.18	19.64
Sfera Sti + p 150 kg/ha	20.05	19.82	19.55	19.81
Sfera Sti + p 200 kg/ha	20.43	20.05	19.35	19.94
Testigo	20.00	20.50	19.50	20.00

Para cada uno de los entrenados (segundo, sexto, noveno) se realizara un análisis de varianza para cada entrenado y conocer si existe una diferencia significativa estadísticamente entre tratamientos, con un intervalo de 95 % de confianza y un nivel de significación de 5 % (cuadros 10, 11, 12).

Cuadro 10. Análisis de varianza diámetro de tallo moledero (mm) del segundo entrenado.

Variable	N	R2	R2 Aj	CV
<b>DIÁMETRO SEGUNDO</b>	28	0.22	0.00	4.07

F.V	SC	gl	CM	F	p-valor
<b>Modelo.</b>	3.47	9	0.39	0.58	0.7988
<b>BLOQUE</b>	0.54	3	0.18	0.27	0.8461
<b>TRATAMIENTO</b>	2.93	6	0.49	0.73	0.6313
<b>Error</b>	12.02	18	0.67		
<b>Total</b>	15.49	27			

Cuadro 11. Análisis de varianza diámetro de tallo moledero (mm) del sexto entrenado.

Variable	N	R2	R2 Aj	CV
<b>DIÁMETRO SEXTO</b>	28	0.14	0.00	5.21

F.V	SC	gl	CM	F	p-valor
<b>Modelo.</b>	3.13	9	0.35	0.32	0.9585
<b>BLOQUE</b>	0.59	3	0.2	0.18	0.9082
<b>TRATAMIENTO</b>	2.54	6	0.42	0.39	0.8783
<b>Error</b>	19.72	18	1.10		
<b>Total</b>	22.85	27			

Cuadro 12. Análisis de varianza diámetro de tallo moledero (mm) del noveno entrenado.

Variable	N	R2	R2 Aj	CV
<b>DIÁMETRO NOVENO</b>	28	0.09	0.00	5.94

F.V	SC	gl	CM	F	p-valor
<b>Modelo.</b>	2.29	9	0.25	0.19	0.9921
<b>BLOQUE</b>	0.25	3	0.08	0.06	0.9787
<b>TRATAMIENTO</b>	2.04	6	0.34	0.26	0.9500
<b>Error</b>	23.80	18	1.32		
<b>Total</b>	26.09	27			

El análisis de varianza de cada uno de los entrenudos (segundo, sexto, noveno) no muestra ninguna diferencia significativa con respecto a los tratamientos (cuadros 10, 11, 12). Con un valor de p-valor de 0.6313 en el segundo entrenudo, 0.8783 sexto entrenudo y 0.9500 en el noveno entrenudo.

Se realizó un análisis de varianza indicando el diámetro de la longitud de tallo moletero (cuadro 13)

Cuadro 13. Análisis de varianza del diámetro promedio a lo largo del tallo (mm).

Variable	N	R2	R2 Aj	CV
<b>Diámetro promedio</b>	28	0.11	0.00	4.73

F.V	SC	gl	CM	F	p-valor
<b>Modelo.</b>	1.91	9	0.21	0.24	0.9828
<b>BLOQUE</b>	0.01	3	3.70E-03	4.20E-03	0.9996
<b>TRATAMIENTO</b>	1.90	6	0.32	0.36	0.8948
<b>Error</b>	15.86	18	0.88		
<b>Total</b>	17.77	27			

La variable de diámetro de tallo moletero, no muestra diferencia significativa (cuadro 13) en ninguno de sus entrenudos ni en el diámetro de longitud del tallo, sin embargo, el tratamiento de mayor grosor es Sfera Sti 200 kg/ha con 20.19 mm aunque solamente tiene 0.19 mm más que el tratamiento testigo.

En la figura 8, se muestra un promedio a lo largo del tallo (mm) entre los tratamientos evaluados, mostrando que el tratamiento Sfera Sti 200 kg/ha tiene mayor grosor de tallo (longitud de tallo).

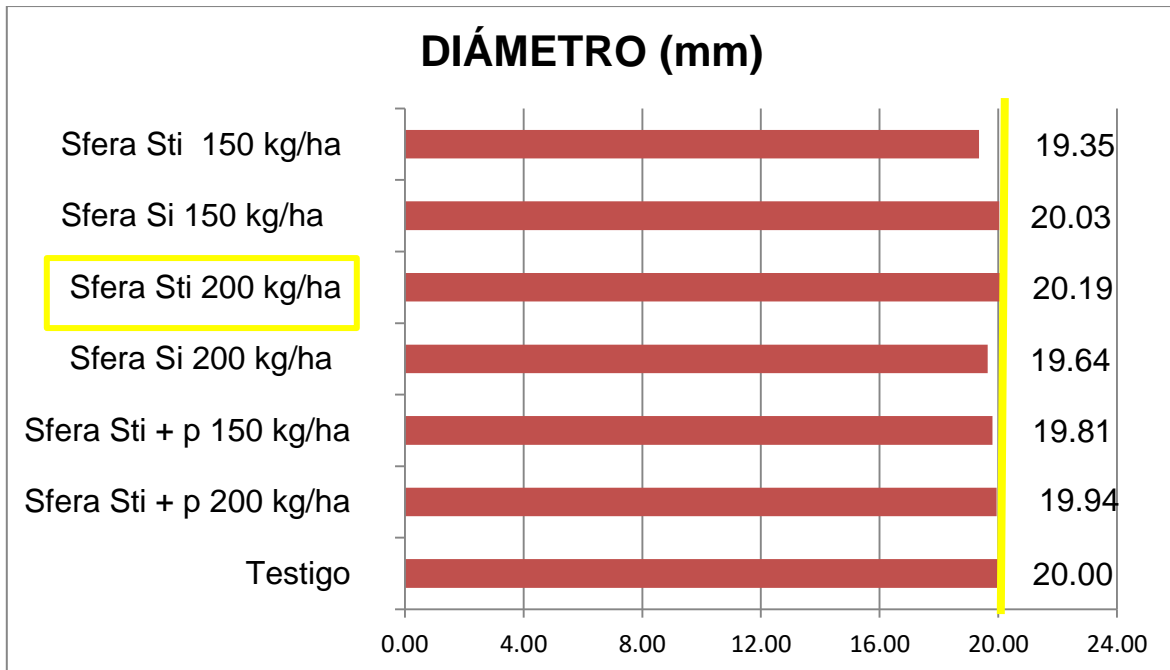


Figura 8. Diámetro (mm) de tallos molederos entre tratamientos. En la evaluación de la aplicación de silicato de potasio y silicato de magnesio sobre la producción, en el cultivo de caña de azúcar (*Saccharum spp*), finca La Niña, Ingenio Santa Ana, Escuintla.

En la figura anterior el diámetro de tallo moledero entre cada tratamiento, se muestra que el tratamiento Sfera Sti 200 kg/ha respecto a cada entrenudo evaluado tiene un aumento de 0.94 % de diámetro con respecto al tratamiento testigo.

Según Camacho OA; Cerdá Subirachs JM; Sanchho Ditlel S; Hernandez Perez R. 2013, demuestran que al aplicar Silicio se logra obtener un aumento del 14 % respecto a la aplicación de silicio versus el testigo, demostrando que existe un crecimiento en la pared celular ayudando al control de plagas y enfermedades. Sin embargo, los resultados muestran que no existe ninguna diferencia estadísticamente entre cada tratamiento; siendo así que no existe ningún crecimiento de la pared celular en los tallos molederos y pueden estar expuestos a plagas y enfermedades dependiendo de la variedad de caña de azúcar.

Se logra determinar que algunos de los motivos por los que la aplicación de silicio no logra llegar a presentar ninguna diferencia significativa entre tratamientos, respecto a la variable biométrica de diámetro de tallo moledero es el área de estudio, donde la finca La Niña (zona de estudio) tenía las características climáticas (cuadro 1), tipo de suelo casi idénticas o ideales para el cultivo de caña de azúcar y no presento un mayor porcentaje de estrés biótico y abiótico en dicha finca. Por esta razón la aplicación de silicio no generara efectos positivos en la variable biométrica de diámetro de tallo moledero.

Por tanto se establece que al aplicar silicio en la finca La Niña (zafra 2017-2018) donde existe un manejo experimental similar a los requerimientos del cultivo, este no llegara a presentar ninguna diferencia significativa entre tratamientos sobre la variable de diámetro de tallo moledero.

### 2.6.3 Longitud de tallos molederos

En el cuadro 14 se presentan los datos promedios de longitud de tallo luego de realizar la fertilización.

Cuadro 14. Promedio de longitud de tallo (cm) a los 37, 72, 102 y 137 días después de la aplicación de fertilizantes. En la evaluación de la aplicación de silicato de potasio y silicato de magnesio sobre la producción, en el cultivo de caña de azúcar.

TRATAMIENTOS	LONGITUD DE TALLO (cm)			
	05/07/2017	09/08/2017	08/09/2017	11/10/2017
<b>Sfera Sti 150 kg/ha</b>	<b>109.08</b>	<b>179.40</b>	<b>230.55</b>	<b>269.38</b>
Sfera Si 150 kg/ha	106.38	180.94	233.85	268.08
Sfera Sti 200 kg/ha	110.58	183.75	230.02	259.65
Sfera Si 200 kg/ha	108.48	180.95	227.93	261.38
Sfera Sti + p 150 kg/ha	104.05	176.20	223.58	255.42
Sfera Sti + p 200 kg/ha	107.65	177.63	226.83	257.15
Testigo	102.38	172.75	220.75	260.95

En el cuadro anterior se logra observar la diferencia de longitud de tallo moledero entre cada tratamiento. Los resultados que se muestran se recolectaron a los 37, 72, 102 y 137 días después de la aplicación de fertilizantes. El tratamiento que mayor porcentaje de longitud de tallo moledero presento a los 137 días después de la fertilización fue Sfera Sti 150 kg/ha con una longitud de 269.38 cm.

Se realizó un análisis de análisis de varianza con un intervalo de confianza del 95 % de confianza para la media calculada y un nivel de 5 %, estos datos se obtuvieron con el muestreo realizado el 11/10/2017 (137 días después de la aplicación de fertilizante). Mostrando que no existe ninguna diferencia significativa entre tratamientos respecto a longitud de tallo (cuadro 15)



Cuadro 15. Análisis de varianza de longitud de tallo molederos (cm).

Variable	N	R2	R2 Aj	CV
<b>ALTURA</b>	28	0.20	0.00	6.21

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
<b>Modelo.</b>	1160.59	9	128.95	0.49	0.8634
<b>TRATAMIENTO</b>	657.97	6	109.66	0.42	<b>0.8590</b>
<b>BLOQUE</b>	502.62	3	167.54	0.63	0.6021
<b>Error</b>	4749.70	18	263.87		
<b>Total</b>	5910.29	27			

Para cada tratamiento se evaluó la variable de longitud de tallo moledero por medio de un análisis estadístico, con el objetivo principal de determinar si la aplicación de productos a base de Silicio (Si) causan un efecto positivo en la longitud de tallo.

En los resultados presentados en el cuadro anterior se muestra que no existe ninguna diferencia significativa entre tratamientos, algunas de las razones que se pueden llegar a mencionar por los resultados negativos de la evaluación son, las características que llevo a presentar el área de estudio que fue finca La niña como las condiciones climáticas, tipo de suelo (elementos esenciales) y que esta zona no presento mayor porcentaje por estrés biótico o abiótico que perjudicara el cultivo de caña de azúcar siendo estas de las principales razones por la que no se lograron obtener los beneficios brindados por el elemento de Silicio; otras de las razones de este pueden ser las fertilización a base del elemento Nitrógeno con la fuente de Urea que permite la elongación, crecimiento y desarrollo del cultivo siendo así que no existe la necesidad del elemento Silicio provocando que este no llegue a mostrar todas los beneficios de él.

Por tanto, la variable biométrica de longitud de tallo no llevo a presentar estadísticamente diferencia significativa entre tratamiento esto se debe a que las condiciones experimentales y los suelos que son parecidas a las que requiere el cultivo por esta razón al aplicarse silicio pueda que se presente una reacción que contrarreste los beneficios brindados por este elemento benéfico dando como resultados.

#### 2.6.4 Producción de caña de azúcar (T/ha)

En el cuadro 16, se presentan las toneladas de caña por hectárea obtenidas en cada tratamiento de estudio.

Cuadro 16. Producción (T/ha) entre tratamientos. En la evaluación de la aplicación de silicato de potasio y silicato de magnesio sobre la producción, en el cultivo de caña de azúcar (*Saccharum spp*), finca La Niña, Ingenio Santa Ana, Escuintla.

TRATAMIENTOS	T/ha
Sfera Sti 150 kg/ha	185.59
Sfera Si 150 kg/ha	194.97
<b>Sfera Sti 200 kg/ha</b>	<b>208.95</b>
Sfera Si 200 kg/ha	154.25
Sfera Sti + p 150 kg/ha	178.88
Sfera Sti + p 200 kg/ha	179.19
Testigo	173.13

Los resultados presentados en el cuadro 17 se obtuvieron a través de muestreo de campo y se analizaron por medio de INFOSTAT® con un análisis de varianza con un intervalo de confianza del 95 % y un nivel de significación del 5 %.

Cuadro 17. Análisis de varianza toneladas métricas de caña por hectáreas.

Variable	N	R2	R2 Aj	CV
<b>TMH</b>	28	0.48	0.21	13.52

F.V.	SC	gl	F	p-valor
<b>Modelo.</b>	9931.45	9	1103.49	0.1338
<b>TRATAMIENTO</b>	7093.82	6	1182.3	<b>0.1273</b>
<b>BLOQUE</b>	28.37	3	945.88	0.2338
<b>Error</b>	10918	18	606.56	
<b>Total</b>	20849.44	27		

El análisis de varianza obtenido en las toneladas de caña de azúcar en cada tratamiento muestra que estadísticamente no hay diferencia significativa entre los tratamientos, sin embargo, el tratamiento Sfera Sti 200 kg/ha muestra 208.95 T/ha (cuadro 16) siendo este

tratamiento con mayor cantidad; mostrando un 20.69 % de aumento con respecto al tratamiento testigo.

Finca La niña se caracteriza por tener un pH de 6.4, materia orgánica de 3.65, textura de suelo franco arenoso que son unas de las principales características que requiere la caña de azúcar para poder tener un adecuado crecimiento y mayor producción. Con respecto a plagas y enfermedades dentro de la finca existe un 1.85 de incidencia y un 0.12 de intensidad respecto a plaga el Barrenador de tallo y no presenta chinche salivoso ni roedor.

Los resultados obtenidos se pueden asociar a las buenas características que poseen los suelos de dicha finca más la aplicación de Nitrógeno (UREA) en esta parcela, también se pueden mencionar otros beneficios como la disponibilidad del agua dentro de la planta, retención del agua y cambios climáticos.

En la figura 9, se observa la diferencia de T/ha, por lo tanto se puede mencionar que al aplicar un fertilizante con base a Silicio (Si) existe un promedio de 35.82 T/ha más que al no aplicar (Testigo), sin embargo, estadísticamente no existe diferencia significativa. Esto se debe a que todas las variables que estudiamos (número de tallo, diámetro y longitud de tallo) no mostraron ninguna diferencia significativa.

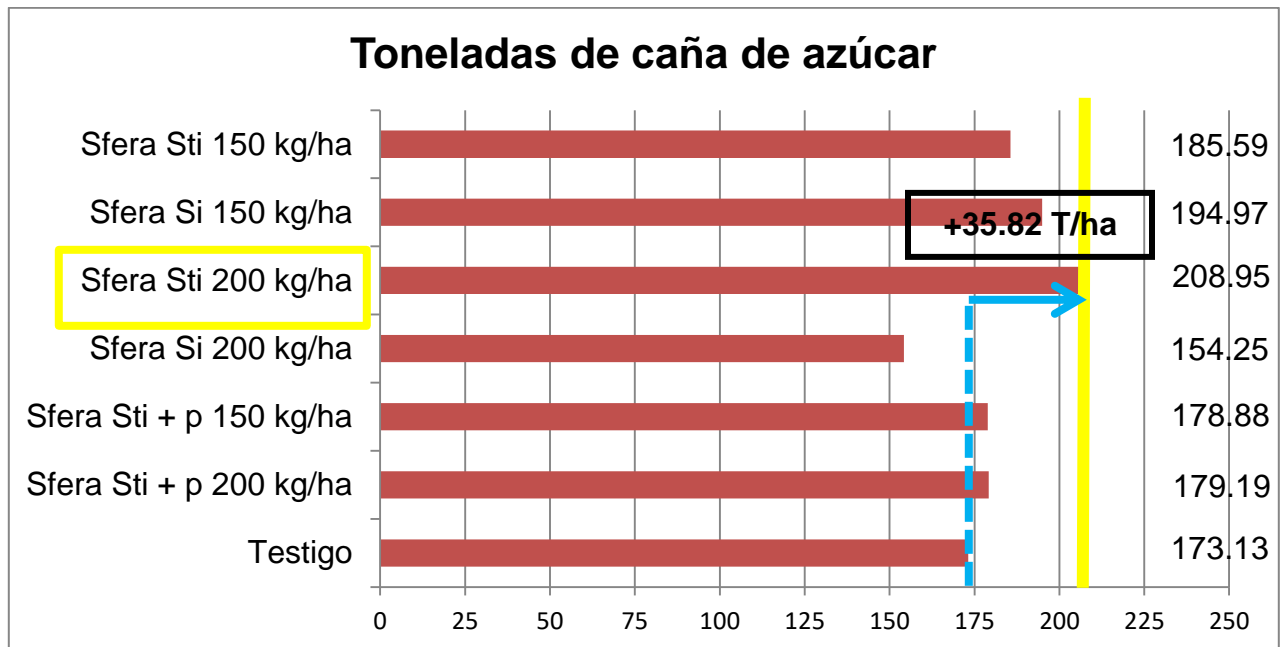


Figura 9. Comparativo de producción (T/ha) entre tratamientos. En la evaluación de la aplicación de silicato de potasio y silicato de magnesio sobre la producción, en el cultivo de caña de azúcar (*Saccharum spp*), finca La Niña, Ingenio Santa Ana, Escuintla.

Los resultados obtenidos de las variables a medir (número de tallo, longitud de tallo, diámetro) no muestra estadísticamente ninguna diferencia significativa entre tratamientos, sin embargo, por esta razón se puede llegar a concluir que los resultados que se logran obtener de producción iban a representar un análisis estadístico sin ninguna diferencia significativa.

Al observar cada uno de los resultados el tratamiento testigo (sin aplicación de Silicio) no muestra mayor promedio en ninguna de las variables ya que los tratamientos con silicio presentan mejor promedio. Al comparar cada uno de los tratamientos se puede mencionar el tratamiento Sfera Sti 200 kg/ha es uno de los tratamiento que muestra constancia en presentar los mejores promedios respecto a cada una de las variables a medir y esto se refleja en ser el tratamiento con mayor promedio de toneladas métricas de caña de azúcar (208.95 T/ha), aunque no muestre estadísticamente ninguna diferencia significativa se logra obtener un 35.82 T/ha más que el tratamiento testigo.

## 2.7 CONCLUSIONES

- A. La aplicación de Silicio con fertilizantes Tigma (Sfera Sti, Sfera Si, Sfera Sti + probiótico) con dos diferentes dosis cada una, produjo un mejoramiento en diferentes variables (población, longitud de tallo y diámetro) o producción en caña de azúcar. El producto no presentó estadísticamente algo significativo, cabe recalcar que la aplicación se realizó en la finca La Niña donde característicamente ofrece condiciones climáticas, edáficas casi ideales para el cultivo de caña de azúcar donde no presenta un estrés abiótico ni biótico. Por lo cual se puede decir que la aplicación de Silicio no presentó ninguna diferencia significativa pues los beneficios del silicio antes mencionado solo puede llegar a presentarse cuando el cultivo presenta algún estrés, recalcando que el silicio es un elemento benéfico no un nutriente esencial para la planta.
- B. Al comparar las variables medidas (número de tallo, diámetro, longitud de tallo) en la finca La Niña, en el periodo de zafra 2017-2018 por medio de un análisis de varianza con ayuda del programa INFOSTAT®, se determinó que no existe diferencia significativa en ninguna de las variables. Sin embargo el tratamiento que muestra una constancia respecto a mayor promedio es Sfera Sti 200 kg/ha.
- C. La producción (T/ha) obtenidas de cada tratamiento indican que el tratamiento Sfera Sti 200 kg/ha presenta un promedio de 208.95 T/ha siendo este el que obtuvo mayor promedio, estimando un 35.82 T/ha más que el tratamiento testigo (sin aplicación de silicio). Por medio de un análisis de varianza con ayuda de INFOSTAT®, se determinó que estadísticamente no existe diferencia significativa entre tratamiento.

## 2.8 RECOMENDACIONES

- A. Debido a que existen diversas fincas que presentan estrés biótico o abiótico, realizar una investigación en fincas con estrés y sin estrés para obtener un concepto más claro sobre los beneficios brindados del silicio.
  
- B. El estudio sugiere que debe evaluarse durante un periodo de cinco años en finca La Niña y Panten 101 para lograr comparar los resultados y obtener más información sobre las variables y la producción de caña de azúcar.

## 2.9 BIBLIOGRAFÍA

1. Camacho OA; Cerdá Subirachs JM; Sanchho Ditlel S; Hernandez Perez R. 2013. Aumento del potencial productivo en caña de azúcar por aplicación de armurox como fuente de silicio biodisponible (en línea). Consultado 16 ago. 2018. Disponible en [file:///C:/Users/Reyes/Downloads/EVENTOARMUROXENCAADEAZUCAR\\_0410103612%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Reyes/Downloads/EVENTOARMUROXENCAADEAZUCAR_0410103612%20(1).pdf)
2. CENGICAÑA (Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar, Guatemala). 2011. Respuesta de la caña de azúcar al silicio en dos suelos de la zona cañera de Guatemala. Escuintla, Guatemala, Ingenio La Unión-Pantaleón. 257 p.
3. \_\_\_\_\_. 2017. Informe anual 2015-2016. Guatemala. 179 p.
4. Consuegra, C. 2014. Productividad de las variedades CP88-1165, CP73-1547 y CP-72-2086 de la agroindustria azucarera en base a la zonificación agroecológica, de la Costa Sur de Guatemala, diagnóstico y servicios realizados en el área de sistemas de información para la agricultura de precisión, Programa de Agronomía, CENGICAÑA (en línea). Guatemala. Consultado 15 mar. 2017. Disponible en <http://www.repositorio.usac.edu.gt/2742/1/INTEGRADO%20CARLOS%20CONSUEGRA%20Final.pdf>
5. Díaz Montejó, LL; Portocarrero Rivera, ET. 2002. Manual de producción de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.). Tesis Ing. Agr. Honduras, Escuela Agrícola Panamericana El Zamorano. Consultado 21 mar. 2017. Disponible en <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/2247/1/CPA-2002-T043.pdf>
6. Gándara, N. 2016. Siembran más variedades de caña de azúcar (en línea). Prensa Libre, Guatemala, enero 3. Consultado 18 mar. 2017. Disponible en <http://www.prensalibre.com/economia/siembran-mas-variedades-de-caa-de-azucar>
7. Itzep Solares, FD. 2017. Tipos de fertilización de la caña de azúcar en el Ingenio Santa Ana, Escuintla, Guatemala (entrevista). Escuintla, Guatemala, Ingenio Santa Ana, Coordinador de Investigación.
8. Labrador, C. 2007. Fertilización de silicio (en línea). Consultado 10 abr. 2017. Disponible en <https://es.calameo.com/read/0041160805b05e980b1d7>
9. Piedrahíta, O. 2008. El silicio como fertilizante (en línea). Consultado 12 abr. 2017. Disponible en [http://www.nuprec.com/Nuprec\\_Sp\\_archivos/Literatura/Silicio/Silicio%20en%20las%20plantas.pdf](http://www.nuprec.com/Nuprec_Sp_archivos/Literatura/Silicio/Silicio%20en%20las%20plantas.pdf)

10. Romero ER; Digonzelli PA; Scandaliaris J. 2009. Manual del cañero (en línea). Argentina, EEAOC. Consultado 21 ago. 2018. Disponible en [http://www.eeaoc.org.ar/cania/Manual\\_Caniero\\_EEAOC.pdf](http://www.eeaoc.org.ar/cania/Manual_Caniero_EEAOC.pdf)
11. Seanz, E. 2014. Evaluación de cuatro madurantes en caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) en la variedad MEX 79 – 431, diagnóstico y servicios realizados en el Grupo Corporativo Santa Ana, S. A., Escuintla, Guatemala, C. A. (en línea). Consultado 15 abr. 2017. Disponible en <http://www.repositorio.usac.edu.gt/2758/1/INTEGRADO%20DOC%20%20FINAL%20Eddy%20Saenz.pdf>
12. Subirós Ruiz, F. 2000. El cultivo de la caña de azúcar (en línea). Costa Rica, EUNED. Consultado 20 jun. 2017. Disponible en [https://books.google.com.gt/books?id=2wpC1j2AmkAC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.gt/books?id=2wpC1j2AmkAC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)







### 3.1 PRESENTACIÓN

Tigsa es una empresa de fertilizantes que se dedica a realizar fertilizantes granulados que se llegan a adaptar a necesidades específicas dependiendo de la región y cultivo. La función que tengo como promotora de investigación y desarrollo es una serie de investigaciones sobre productos Tigsa en forma granulada aplicada en el cultivo de caña de azúcar, dependiendo de las problemáticas que se encuentran dentro del mismo.

Se inició realizando un diagnóstico en el cual se plantearon los problemas generales dentro del Ingenio Santa Ana y lograr generar una solución con los fertilizantes de Tigsa.

Los fertilizantes Tigsa granulados de forma mecánica y manual dependiendo de la forma de cada finca dentro del Ingenio Santa Ana (La Niña, Llanes y California). Estos productos están basados con elementos menores que son de gran importancia dentro de cualquier cultivo, se logró aplicar productos con los siguientes elementos: Azufre, Boro, Zinc, Calcio, Magnesio. Se aplicó un fertilizante a base de Silicio que está considerado como un elemento benéfico.

Por esta razón, el presente documento presenta los servicios realizados en el periodo de 2017-2018 los cuales han ayudado a comprobar si estos elementos menores tienen un efecto positivo dentro del cultivo de caña de azúcar. A) Evaluación del efecto de distintos niveles de Zinc para evaluar el comportamiento de barrenados de tallo (*Diatraea cambidoides*). B) Ensayo de un plan nutricional de micronutrientes.

### 3.2 AREA DE INFLUENCIA

Los servicios se realizaron con productos Tigma en el Ingenio Santa Ana S.A. Escuintla, Escuintla. Y las áreas de estudio fueron realizadas en las Fincas California y Finca Llanes.

Finca California, se revisaron los registros de muestreo de plagas y enfermedades de distintos lotes siendo el 307 el que presentó mayor incidencia de Barrenador de tallo (*Diatraea cambidoides*).

En finca Llanes se realizó un análisis de suelo en los lotes de mayor importancia donde se muestra una deficiencia en algunos micronutrientes y se llega a realizar una propuesta con fertilizantes personalizados Tigma. Los lotes evaluados son: 1422, 1423, 1425.

### **3.3 OBJETIVO GENERAL**

Apoyar como promotora de investigación y desarrollo dentro de la empresa Tigma directamente con el cultivo de caña de azúcar dentro del Ingenio Santa Ana S.A, Escuintla.

### 3.4 SERVICIOS PRESTADOS

#### 3.4.1 Evaluación del efecto de distintos niveles de Zinc para evaluar el comportamiento de barrenados de tallo (*Diatraea cambidoides*).

##### 3.4.1.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

El barrenador penetra dentro del tallo con el fin de poder sobrevivir de efectos adversos como lo es el clima o insectos benéficos, por esta razón, es considerada una de las plagas de mayor importancia en el cultivo de caña de azúcar en Guatemala. Debido a que esta plaga se encuentra dentro del tallo no se logra visualizar el daño causada por el mismo, sin embargo, cuando esta llega a cosecha y se trasporta a fabrica se obtiene menor rendimiento de toneladas de azúcar.

Estudios realizados en el año de 1996 por CENGICAÑA demuestran que por cada uno por ciento de intensidad de infestación (ii) las perdidas incrementan 0.69 libras de azúcar por tonelada.

El Ingenio Santa Ana, muestra que las plagas con mayor importancia para ellos son: Barrenado, Rata y Chinche Salivosa (Pec, M 2017). Por esta razón se buscó la mayor zona afectada por Barrenador de tallo (*Diatraea cambidoides*), ubicada en la finca California lote 307. La aplicación de Zinc se realizó con el fin de obtener reducción poblacional de Barrenador de tallo, el supuesto indica que al alimentarse con grandes cantidades de Zn el estado adulto tiende a abortar embriones y oviposita huevos infértiles, sin embargo, los resultados estadísticos muestran que este supuesto no muestra ninguna diferencia significativa entre los tratamientos; aunque este elemento (Zn) haya sido absorbido perfectamente por la planta. Ocasionando de igual manera que el porcentaje de tallo barrenado e intensidad de infestación de tallo barrenado no muestre estadísticamente una diferencia significativa entre los tratamientos.

### 3.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- A. Evaluar el efecto de aplicación de distintos niveles de zinc como control del barrenados del tallo (*Diatraea cambidoides*).
- B. Determinar si existe una relación en la aplicación de Zinc con respecto a la absorción y el control al ataque por plaga del Barrenador de tallo (*Diatraea cambidoides*).

### 3.4.3 METODOLOGÍA

#### 3.4.3.1 Condiciones experimentales

##### A. Cultivo

Variedad de cultivo de caña de azúcar CP 73-1547

##### B. Condiciones del ensayo

Se revisaron los registros de los muestreos de plagas y enfermedades de los distintos lotes de la Finca California con presencia de Barrenados de Tallo.

Se seleccionó el lote 307 debido a que presentó mayor Barrenados de tallo (*Diatraea cambidoides*). (Pec, M. 2017)

Las prácticas agronómicas fueron realizadas por personal de la finca, aplicando de forma manual una adición de Sfera Z20 (ZnO) dentro del programa de fertilización.

##### C. Diseño e instalación de ensayo

Se estableció un ensayo con diseño experimental de Bloques Completamente al Azar con la siguiente descripción de tratamientos (cuadro 18).

Cuadro 18. Diseño e instalación de ensayo de los diferentes tratamientos en finca California, Ingenio Santa Ana, Escuintla, Guatemala.

TRATAMIENTO	PRODUCTO	APLICACIÓN	DOSIS producto comercial kg/ha
1	Testigo Relativo	**	0 kg/ha Zn
2	Sfera Z20	Granulada, suelo	5 kg/ha Zn
3	Sfera Z20	Granulada, suelo	10 kg/ha Zn
4	Sfera Z20	Granulada, suelo	15 kg/ha Zn
5	Sfera Z20	Granulada, suelo	20 kg/ha Zn



#### D. Unidad experimental (figura 10)

- Tratamientos: 5
- Repeticiones: 5
- Largo de surco: 20 m
- Ancho: 12 surcos (1.60 m distanciamiento)
- Tamaño de unidad experimental: 400 m<sup>2</sup>
- Tamaño de tratamiento: 2,000 m<sup>2</sup>

T1R2	T2R2	T4R4	T3R1	T5R4	<b>BLOQUE 5</b>
T2R1	T1R4	T3R5	T5R2	T4R1	<b>BLOQUE 4</b>
T3R2	T5R3	T2R5	T4R3	T1R5	<b>BLOQUE 3</b>
T5R5	T1R3	T3R3	T2R4	T4R5	<b>BLOQUE 2</b>
T4R2	T5R1	T2R3	T3R4	T1R1	<b>BLOQUE 1</b>



Figura 10. Distribución de los tratamientos y repeticiones dentro del pante 307 de la finca California, Ingenio Santa Ana, Escuintla, Guatemala.

#### E. Variables a medir en campo

##### Densidad larval

Se localizaron dos metros lineales en el centro de cada unidad experimental, donde se revisó adentro de cada tallo la existencia de larvas de Barrenador de tallo (*Diatraea cambidoides*). Se realizaron dos muestreos, estos fueron a los 136 y 171 días después de la fertilización.

##### Análisis Foliar

Para un muestreo adecuado se deben tomar las siguientes indicaciones:

1. Se seleccionaran las plantas por cada tratamiento ubicadas en el centro. No deben de seleccionarse plantas con estrés climático o nutricional, daños mecánicos o por plagas y enfermedades, no incluir tejidos muertos.
2. La hora adecuada para tomar el muestreo es durante horas de la mañana.
3. Las hojas recolectadas (20 - 30 hojas por tratamiento) deben de ir en bolsas de papel previamente perforadas.

4. En la caña de azúcar se debe de recolectar la hoja 1 conocida como TVD que corresponde a la primera hoja visible o papada visible de la planta, esto porque se estima que representa la mejor condición nutricional de la plantas, al presentar un tejido en plena transición. (Stauder de Romero, N. 2010).

El muestreo se llevó a cabo el 23/09/2017, 180 días después de la fertilización, enviado a ANALAB, ANACAFE.

### 3.4.4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.4.4.1 Densidad Larval

Resumen del análisis estadístico realizado a la densidad larval (larvas/ha) de Barrenador de tallo en caña de azúcar con los diferentes tratamientos: 0, 5, 10, 15, y 20 kg/ha de Zn. Se realizaron dos muestreos de densidad larval, la primera fue 14/08/2017 y la segunda el 10/10/2014 a los 136 y 171 días después de la aplicación. (cuadro 19)

Cuadro 19. Número del análisis estadístico (larvas/ha) de Barrenador de tallo, dentro del pante 307 de la finca California, Ingenio Santa Ana, Escuintla, Guatemala

TRATAMIENTO	Número de larvas por hectárea (14/08/2017)	Número de larvas por hectárea (10/10/2017)
Testigo	4688	6250
Sfera Z20 (5 kg/ha)	750	6500
Sfera Z20 (10 kg/ha)	2500	5000
Sfera Z20 (15 kg/ha)	2188	8250
Sfera Z20 (20 kg/ha)	2188	7500

Se realizó un método estadístico (coeficiente de varianza) para determinar si existe una diferencia significativa entre los tratamientos, en diferentes fechas.

El primer muestreo realizado el 14/08/2017, como se muestra en el análisis de coeficiente de varianza (cuadro 20), todas las unidades experimentales a las que se le aplicó Zn presentaron medias estadísticamente iguales pero superiores a la media que presenta el tratamiento testigo.

Cuadro 20. Coeficiente de variación de número de larva/ha (14 de agosto 2017).

VARIABLE	N	R2	R2 Aj	CV
Número de larvas/HA	20	0.55	0.29	72.37

F.V	SC	gl	CM	F	p-valor
MODELO	45390625	7	6484375.00	2.08	0.1261
BLOQUES	11484375	3	3828112.00	1.23	0.3415
TRATAMIENTOS	33906250	4	8476562.50	2.72	0.0799
ERROR	37343750	12	3111979.17		
TOTAL	82734375	19			

TRATAMIENTO	Medias	n	E.E.	
TESTIGO	4687.50	4	882.04	A
5kg/ha Zn	625.00	4	882.04	B
10kg/ha Zn	2500.00	4	882.04	A B
15kg/ha Zn	2187.50	4	882.04	A B
20kg/ha Zn	2187.50	4	882.04	A B

Estos resultados no cumplen con el supuesto de que las larvas de Barrenador de tallo (*D. cramboides*) al cambiar a adulto su sistema reproductivo tienden a abortar embriones y oviposita huevos infértiles, con lo cual bajan las poblaciones del Barrenador de tallo y el daño que este causa, sin embargo, los resultados muestran que los tratamientos son idénticos sin importar si se aplican 5kg/ha o 20kg/ha.

Cuadro 21, del muestreo que se realizó el 10/10/2017 se obtuvo un análisis estadístico que muestra que a los 171 días después de la aplicación no existe ninguna diferencia significativa en todos los tratamientos.

Cuadro 21. Coeficiente de variación de número de larva/ha, 10 de octubre 2017

VARIABLE	N	R2	R2 Aj	CV
Número de larvas/HA	25	0.23	0	103.66

F.V	SC	gl	CM	F	p-valor
MODELO	229500000	8	28687500	0.6	0.7619
BLOQUES	194125000	4	48531250	1.02	0.426
TRATAMIENTOS	35375000	4	8843750	0.19	0.9422
ERROR	760250000	16	47515625		
TOTAL	989750000	24			

Estos resultados no muestra diferencia significativa, haciendo notar que no existe el supuesto de que el estado adulto de Barrenador de tallo aborte embriones y oviposita huevos infértiles por altos consumos de Zinc, ocasionando la disminución de población del insecto y daño causado por el mismo.

#### 3.4.4.2 Absorción de Zinc

Se realizó un análisis foliar con el fin de obtener la absorción de Zinc dentro de la caña de azúcar y así lograr observar si existe relación entre la absorción y el control al ataque por plaga del Barrenador de tallo. En el cuadro 22, muestra un análisis foliar donde se logra observar diferencia entre los tratamientos respecto a su Zn (ppm).

Cuadro 22. Análisis foliar realizado en los diferentes niveles de Zn, aplicado en Finca California a los 180 días después de la aplicación.

TRATAMIENTO	Zn (ppm)
Testigo Relativo	12.73
Sfera Z20 5 kg/ha	12.84
Sfera Z20 10 kg/ha	12.76
Sfera Z20 15 kg/ha	13.14
Sfera Z20 20 kg/ha	15.10

Fuente: Laboratorio ANALAB, 2017.

El cuadro anterior se muestra un resumen del análisis foliar realizado en los tratamientos aplicados con diferentes dosis de Zn en donde se logra observar que el tratamiento con mayor dosificación muestra un promedio de 15.10 ppm de Zn dentro de la caña de azúcar siendo este el mayor porcentaje de ppm de Zinc, y de igual manera los tratamientos van disminuyendo con forme se disminuye la dosis del tratamiento.

En términos generales nos indica que el producto Sfera Z20 si llego a ser absorbido por la caña de azúcar, sin embargo, no está relacionado con la plaga del barrenador de tallo ya que esto no mostró ninguna diferencia significativa en la reducción de esta plaga como se muestra en el cuadro 22.

### **3.4.5 Ensayo de un plan nutricional de micronutrientes**

#### **3.4.5.1 DEFINICION DEL PROBLEMA**

La caña de azúcar es un cultivo importante en muchos países incluyendo Guatemala, sin embargo, en los últimos años está a sido afectada por distintas variables en las cuales podemos mencionar plagas, enfermedades, cambios climáticos, tipo de suelo, variedad de caña de azúcar, desgaste nutricional del suelo, etc. Siendo así que se vea afectado en el rendimiento de producción de la caña de azúcar.

Una de las problemáticas es el desgaste nutricional del suelo y para esto se debe de realizar un diseño de programa de fertilizante basado con el análisis de suelo, al realizar el análisis de suelo no se llegan a tomar varias variables que son necesarias para ejercer un buen programa de fertilización. Al recomendar una fertilización se debe entregar al cultivo la suficiente cantidad de nutrientes en un balance adecuado esto con el fin de llegar a tener un óptimo desarrollo y producción.

Cuando ya existe un análisis de suelo se deben de tomar los parámetros más importantes para su interpretación los cuales son: textura, pH, contenido de materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico efectivo, balance entre cationes y presencia de elementos tóxicos.

Con la empresa Tigma, empresa que se dedica a fertilizantes personalizados que se llegan a adecuar al tipo de suelo y ayuda a tener un buen crecimiento y producción, se tomaran en cuenta todos los parámetros para la interpretación adecuada de un análisis de suelo y poder brindar un programa de fertilización al ingenio Santa Ana.

El ingenio Santa Ana realiza diversas actividades con el fin de minimizar algunas de las problemáticas y que el rendimiento de caña de azúcar no se vea tan afectado como lo es en el desgaste nutricional del suelo.

### 3.4.6 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- A. Implementar un plan nutricional de micronutrientes en el cultivo de caña de azúcar (*Saccharum spp*), establecida en Ingenio Santa Ana, Finca Llanes. Escuintla, Escuintla.
  
- B. Identificar que fertilizante tigma se adecua a los requerimientos del cultivo de caña de azúcar (*Saccharum spp*), establecido en Ingenio Santa Ana, Finca Llanes. Escuintla, Escuintla.

### 3.4.7 METODOLOGÍA

#### 3.4.7.1 Condiciones experimentales

##### A. Cultivo

Variedad de cultivo de caña de azúcar CG 9878

##### B. Condiciones del ensayo

La investigación se estableció en Ingenio Santa Ana, Finca Llanes, en los Pantes: 1422, 1423, 1425. Las prácticas agronómicas se realizaron con personal de finca.

#### 3.4.7.2 Muestreo de suelo

Esta debe de ser realizada con un mínimo de tiempo de 20 – 30 días antes de la fecha programada para la siembra o inmediatamente después de la cosecha, tomando las siguientes recomendaciones:

- A. Solicitar un plano del área de estudio donde se llevara a cabo el muestreo de suelo.
- B. Identificación del plano del área homogénea.
- C. Las sub-muestras se deben de realizar en forma de zigzag, con la finalidad de abarcar el máximo espacio del lote.
- D. Evitar la toma de sub-muestras que se encuentren cerca de ríos, drenajes, cercas vivas.
- E. Enviar la muestra al laboratorio lo más pronto posible, con una tardanza de 1 – 2 días después del muestreo (Stauder de Romero, N. 2010).

Pasos para realizar un muestreo en el área de estudio (finca Llanes, Ingenio Santa Ana, Escuintla, Escuintla)

- A. Limpieza la superficie del área donde se tomara la sub-muestra, realizándolo a una profundidad de 0-20 cm.
- B. Tomar una porción de suelo siendo de 100 g a 200 g.
- C. Como el área de estudio es menor a 5 hectáreas se recomienda tomar un promedio de 10 sub-muestras.
- D. Colocar el total de las sub-muestras dentro de una bolsa plástica doble y debe de estar identificada con: nombre de la finca, lotes estudiados, fecha de muestreo, profundidad de muestreo, cultivo anterior sembrado.
- E. Llevar a laboratorio. En este caso se llevara al laboratorio de Soluciones Analíticas, donde se llevan todas las muestras de suelo de la empresa Tigsa. (Stauder de Romero, N. 2010).



### 3.4.7.3 Interpretación agronómica del análisis de suelo

Para lograr obtener una buena interpretación agronómica de los resultados del análisis de suelo, se debe de realizar con ayuda de los resultados enviados por el laboratorio y con base a eso se deben de tomar varias características para su interpretación.

Para que esta sea de utilidad, los números reportados por el análisis de suelo deben correlacionarse con el rendimiento del cultivo, es decir, cuando el contenido de un nutriente en el suelo es bajo según resultados del análisis de suelo, la aplicación de ese nutriente debe de ser alta, o al contrario, cuando el contenido de un nutriente es alto según resultados del análisis de suelo, la respuesta a la aplicación del nutriente debe de ser baja.

Para llegar a realizar un buen diseño de un programa de fertilización se debe de entregar al cultivo los suficientes nutrientes, teniendo un equilibrio entre ellos, teniendo como resultado que el cultivo exprese su potencial rendimiento.

Con las herramientas adecuadas y disponibles, la nutrición no debe de ser un factor que limite la producción de caña de azúcar. Por esta razón los pasos a seguir para el diseño de programas de fertilización son los siguientes:

- A. Determinar si existe una condición limitante en el suelo el cual pueda causar un mal desarrollo en la caña de azúcar.
- B. Determinar los requerimientos nutricionales del cultivo.
- C. Fraccionamiento de las dosis de nutrientes recomendados. (Stauder de Romero, N. 2010).



### 3.4.8.2 Interpretación agronómica del análisis de suelo

Los resultados enviados por el laboratorio de Soluciones Analíticas sobre el análisis de suelo se muestran en la figura 12, en los cuales se muestran que elementos están correlacionados con los nutrientes que requiere la caña de azúcar.

14 avenida 19-50 Condado El Naranjo  
Ofibodegas San Sestián, Bodega 23,  
Zona 4 de Mixco, Guatemala  
PBC.: 2416-2916 Fax.: 2416-2917  
[info@solucionesanaliticas.com](mailto:info@solucionesanaliticas.com)  
[www.solucionesanalitica.com](http://www.solucionesanalitica.com)



Lotificación El Relicario, Lote 6  
Carretera al Pacifico, Km. 91  
Santa Lucia Cotz, Escuintla  
PBX.: 7882-2428  
[info@solucionesanaliticas.com](mailto:info@solucionesanaliticas.com)  
[www.solucionesanaliticas.com](http://www.solucionesanaliticas.com)

cliente	TECNOLOGIA INDUSTRIAL DE GRANULADOS, S.A. (04963)	Numero de orden	100488
Personal Responsable	ANDREA MIRANDA	Código de muestra	17.03.23.05.28
Finca	LLANES (25330)	Fecha de ingreso	23/03/2017
Localización	Escuintla, ESCUINTLA	Fecha de informe	07/04/2017
Referencia Cliente	ID 1	Asesor	LUIS ORELLANA
Cultivo	CAÑA DE AZUCAR - Saccharum offi (13)		

PARAMETROS DEL SUELO		RANGO ADECUADO
pH	6.21	5.50_7.20
Concentración de Sales (C.S.)	0.04 dS/m	0.2_0.8
Materia Orgánica (M.O.)	5.95%	2.0_4.0
Saturación K	2.55%	4 % _ 6 %
Saturación Ca	80.62%	60 % _ 80 %
Saturación Mg	15.86%	10 % _ 20 %
Saturación Al + H	0.00%	< 20 %
Saturación Na	0.97%	< 5 %

ELEMENTO	CONC. ppm (p/v)	NIVELES			ADECUADO ppm (p/v)	DOSIS Kg/ha *
		BAJO	ADECUADO	ALTO		
Amonio en KCl	N-NH 4	6.7			**	
Nitrato en KCl	N-NO 3	26			**	
Fósforo	P	<10 X			30_75	60 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
Potasio	K	68.4 XXX			150_300	190 K <sub>2</sub> O
Calcio	Ca	1109.0 XXXXXXXXXXXXX			1000_2000	
Magnesio	Mg	130.9 XXXXXXXXXXXXX			100_250	
Azufre	S	7.0 XXXXXX			10_100	60 S
Boro	B	0.2 XXXX			1_5	3 B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Cobre	Cu	1.5 XXXXXXXXX			1_7	
Hierro	Fe	57.1 XXXXXXXXX			40_250	
Manganeso	Mn	4.1 XXXX			10_250	4 Mn
Zinc	Zn	1.8 XXXXXX			2_25	2 Zn
Aluminio	Al	< 8.0 X			< 20% Sat Al	
Sodio	Na	<50.0 XXXX			< 5 % Sat Na	

Figura 12. Resultados de análisis de suelo de laboratorio de Soluciones Analíticas realizados en Ingenio santa Ana, finca Llanes pantes 1422, 1423, 1425. Escuintla, Escuintla.

En la figura anterior se muestran los resultados del análisis de suelo del laboratorio de Soluciones Analíticas, realizado en Ingenio Santa Ana, finca Llanes 1422, 1423, 1425. Escuintla, Escuintla. Los cuales se logran interpretar de la siguiente manera:

La materia orgánica, muestra que tiene un porcentaje mayor que el rango adecuado del cultivo, los suelos de estos pantes muestran un promedio de 5.95% y su rango adecuado es 2 % - 4 % (figura 12), sin embargo, la acumulación de materia orgánica tiende a equilibrarse con el tiempo y la cantidad final tendrá una mejor calidad de la misma. Al tener mayor porcentaje de M.O. esto ayuda a mejorar la estructura del suelo y permitiendo a su vez que exista en el suelo mayor movilidad de agua y aire, reducción de erosión, aumenta la CIC de los suelos y a su vez ayuda a tener mejor los nutrientes del suelo (principalmente reserva de N en el suelo) y evita los cambios bruscos del pH en el suelo.

En la figura 12 se muestra una saturación de K menor al rango adecuado, presentando solamente un 2.55 % el cual debe de presentarse en un rango de 4 % - 6 %; al no presentar un buen promedio esto provocara problemas como acidez, alcalinidad o exceso de Na (el cual no se muestra en este caso ya que el porcentaje de saturación de Na es de 0.97 % siendo menor a 5 %), sin embargo, la relación entre Ca:Mg:K si da lugar en nuestro análisis de suelo

Con relación a los elementos, los que muestran un contenido bajo según el análisis de suelo son Fósforo, Potasio, Azufre, Boro; de los cuales la respuesta a su aplicación de cada uno de estos nutrientes debe de ser alta. Los macronutrientes (N, F, K), en el cultivo de caña de azúcar siempre han sido programa de fertilización para cada corte o siembra del cultivo (Itzep, F. 2017) y por esta razón los elementos en los cuales nos tenemos que enfocar son en el Azufre y Boro.

- A. Al existir una deficiencia de Azufre, el síntoma más común que se presenta es en el cogollo de la caña de azúcar ya que esta adquiere una apariencia clorofílica o verde pálido y esto provoca una reducción del ancho en la parte media de la hoja.
- B. Cuando existe una deficiencia de Boro el desarrollo apical se ve afectado esto se debe a la inmovilidad dentro de la planta. Las hojas detienen el desarrollo y se deforman, las hojas nuevas forman rosetas como si emergieran de un solo punto. Otra característica son las hojas cartuchos entrelazados, retorcidos y descoloridos.

Y los elementos que se presentan en el rango adecuado según el análisis de suelo, pero sin embargo, están casi en el límite de un rango bajo son Calcio, Magnesio, Cobre, Hierro, Manganeso y Zinc. Dando como resultado que los elementos menores necesitan de una aplicación media a alta de estos nutrientes.

El valor de pH es de 6.21 encontrándose en un rango adecuado, esto significa que no existe ninguna limitante con respecto a las condiciones que pueden llegar a ser afectadas por un pH inadecuado para el cultivo de caña de azúcar.

Para iniciar a realizar un ensayo con fertilizantes a base de micronutrientes conjuntamente con los fertilizantes Tigma, se tomaron en cuenta los fertilizantes Tigma directamente los que se presentan en la línea de Sfera (cuadro 1). Del cual se tomaron se tomó en cuenta la interpretación del análisis de suelo y se tomó en cuenta un fertilizante Tigma adecuado para el tipo de suelo al de los pantes 1422, 1423, 1425 de finca Llanes, el cual se muestra en el cuadro 23.

Cuadro 23. Producto Tigma de la línea Sfera que se aplicó en Ingenio Santa Ana, finca Llanes pantes 1422, 1423, 1425. Escuintla, Escuintla.

Producto	Función	Ingrediente	Aplicación
Sfera 5	Acondicionador de suelo	Azufre (SO <sub>4</sub> ) 24 % Calcio (CaO) 20 % Magnesio (MgO) 4 % Zinc (ZnO) 2 % Boro (B <sub>2</sub> O) 0.6 %	Mecanizada

En el cuadro anterior se muestra el producto que fue aplicado de forma mecanizada en Ingenio Santa Ana, finca Llanes, Escuintla, Escuintla, en los pantes 1422, 1423, 1425. Al comparar nuestro producto (cuadro 23) y nuestro análisis de suelo (figura 12) tenemos las siguientes características y similitudes entre ambos, para obtener una producción mayor:

- A. El producto Sfera 5 contiene un 24 % de SO<sub>4</sub>, el cual muestra mayor porcentaje de contenido en el producto; en el análisis de suelo muestra que el elemento S se encuentra en un nivel bajo donde con relación al producto y esto a su vez permitirá que el rango adecuado para lograr que el cultivo llegue a absorber adecuadamente este nutriente.
- B. Con respecto al elemento Calcio, el producto contiene un 20 % de CaO y el suelo requiere una cantidad pequeña ya que se encuentra en un nivel medio bajo, pero requiere más que el elemento Magnesio según el análisis de suelo y la relación entre esos elementos.

Como se muestra en el cuadro anterior se observa un porcentaje de Calcio (20 %) es mayor que el porcentaje de Magnesio (4 %) esto se debe a la relación que existe con respecto a lo de saturación de Ca (80.62 %) y Mg (15.86 %).

- C. Sfera 5 tiene un porcentaje de 2 % de ZnO, el cual es favorable para el cultivo de caña de azúcar ya que esta área presenta una deficiencia de este elemento en el muestreo de suelo realizado (figura 12).
  
- D. El elemento Boro muestra un bajo nivel con respecto a el análisis de suelo por lo cual el producto Tigma Sfera 5 tiene un promedio de 0.6 % en su contenido nutricional.

### 3.5 BIBLIOGRAFÍA

1. Itzep Solares, FD. 2017. Tipos de fertilización de la caña de azúcar en el Ingenio Santa Ana, Escuintla, Guatemala (entrevista). Escuintla, Guatemala, Ingenio Santa Ana, Coordinador de Investigación.
2. Pec, M. 2017. Efecto de la aplicación de distintos niveles de Zinc para evaluar el comportamiento de barrenador del tallo (*Diatraea cramboides*) en caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) en el lote 307 de la finca California del Ingenio Sant Ana (entrevista). Escuintla, Guatemala, Ingenio Santa Ana, Coordinador de plagas y enfermedades.
3. Stauder de Romero, N. 2010. Guía para diseñar programas efectivos de fertilización. Mixco, Guatemala. Soluciones analíticas 126 p.