

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
ÁREA INTEGRADA

The seal of the University of San Carlos of Guatemala is a circular emblem. It features a central shield with a blue background, depicting a figure in a red and white garment. Above the shield is a golden crown. The shield is flanked by two golden lions. The entire emblem is surrounded by a circular border containing the Latin text "UNIVERSITAS CAROLINA ACADÉMIA COACTEMALENSIS INTER CATHOLICIS CONSPICUA".

TRABAJO DE GRADUACIÓN

EVALUACIÓN DE PRODUCTOS A BASE DE ÁCIDOS HÚMICOS Y FÚLVICOS EN COMBINACIÓN CON UNA FERTILIZACIÓN COMPLETA Y UNA REDUCIDA PARA DETERMINAR LA RESPUESTA DEL CULTIVO DE CAÑA (*Saccharum officinarum* L.).

DIAGNOSTICO Y SERVICIOS REALIZADOS EN FINCA EL CAPULLO, CHIQUIMULILLA, SANTA ROSA, GUATEMALA.

VICTOR RODRIGO PAREDES RUIZ

GUATEMALA, MARZO DE 2019

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

TRABAJO DE GRADUACIÓN

**EVALUACIÓN DE PRODUCTOS A BASE DE ÁCIDOS HÚMICOS Y FÚLVICOS EN
COMBINACIÓN CON UNA FERTILIZACIÓN COMPLETA Y UNA REDUCIDA PARA
DETERMINAR LA RESPUESTA DEL CULTIVO DE CAÑA (*Saccharum officinarum*
L.).**

**DIAGNOSTICO Y SERVICIOS REALIZADOS EN FINCA EL CAPULLO,
CHIQUMULILLA, SANTA ROSA, GUATEMALA.**

**PRESENTADO A LA HONORABLE JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE AGRONOMÍA**

POR

VICTOR RODRIGO PAREDES RUIZ

EN EL ACTO DE INVESTIDURA COMO

INGENIERO AGRÓNOMO

EN

SISTEMAS DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA

EN EL GRADO ACADÉMICO DE LICENCIADO

GUATEMALA, MARZO 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 Cámara
VOCAL SEGUNDO	Dra. Gricelda Lily Gutiérrez Álvarez
VOCAL TERCERO	Ing. Agr. Jorge Mario Cabrera Madrid
VOCAL CUARTO	Per. Electr. Carlos Waldemar de León Samayoa
VOCAL QUINTO	P. Agr. Marvin Orlando Sicajaú Pec
SECRETARIO	Ing. Agr. Juan Alberto Herrera Ardón

GUATEMALA, MARZO DE 2019

Guatemala, marzo de 2019

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

Honorables miembros

De conformidad con la Ley Orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala tengo el honor de someter a vuestra consideración, el trabajo de graduación realizado en el municipio de Chiquimulilla, Santa Rosa, titulado,

EVALUACIÓN DE PRODUCTOS A BASE DE ÁCIDOS HÚMICOS Y FÚLVICOS EN COMBINACIÓN CON UNA FERTILIZACIÓN COMPLETA Y UNA REDUCIDA PARA DETERMINAR LA RESPUESTA DEL CULTIVO DE CAÑA (*Saccharum officinarum* L.) DIAGNÓSTICO Y SERVICIOS REALIZADOS EN FINCA EL CAPULLO, CHIQUIMULILLA, SANTA ROSA, GUATEMALA

Como requisito previo a optar el título de Ingeniero Agrónomo en Sistemas de Producción Agrícola, en el grado académico de Licenciado.

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

Atentamente,

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

f. _____

VICTOR RODRIGO PAREDES RUIZ

ACTO QUE DEDICO

- A DIOS:** Ser supremo, todopoderoso por la sabiduría y el aprendizaje de las ciencias agronómicas. Gracias Jah por la oportunidad y la dicha, por la existencia.
- A MIS PADRES:** Hugo Arnoldo Paredes Cetino y Luz Verónica Ruiz Rodas. Por su tiempo y amor, porque son los que hicieron posible esto, me brindaron la educación y los ejemplos correctos y necesarios para poder ser un profesional en mi vida. Gracias padre por inculcarme sabiduría e inteligencia. Gracias madre por inculcarme lo más importante en la vida, el amor.
- A MIS HERMANOS:** Heguel Geovany Paredes Ruiz y Tania Carolina Paredes Ruiz. Por ser los mejores hermanos que se puede tener. Gracias Heguel por tu ejemplo en la vida y tu apoyo para poder graduarme. Gracias Carol por estar presente siempre con tu apoyo y tu ayuda.
- A MI HIJA:** Angie Verónica Paredes Hidalgo, por ser mi inspiración y mi felicidad, por darme el privilegio de ser padre.
- A MIS SOBRINAS:** Kehiry Alexandra, Miriam Nicté, Itzel Estela, por llenarme de alegrías y por permitirme ser un ejemplo a seguir en sus vidas.
- A MIS AMIGOS:** Son demasiados los amigos, compañeros, hermanos en este proceso de formación profesional, que no me alcanzarían las hojas para mencionarlos. Por todos ellos y su valiosa amistad. Gracias por ser esas grandes e inolvidables personas en mi vida, por el apoyo, la ayuda y la convivencia.

TRABAJO DE GRADUACIÓN QUE DEDICO

GUATEMALA:

Amada y adorada patria, que me dio el privilegio de nacer.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA:

Alma mater, máxima casa de estudios, la mejor universidad, que me brindó la oportunidad y privilegio de estudiar.

FACULTAD DE AGRONOMÍA:

Gloriosa Facultad, que me brindó la oportunidad de desarrollarme y formarme como un profesional, por la educación y el privilegio de tus enseñanzas.

A MI FAMILIA:

Mi madre Luz, mi padre Hugo, mis hermanos Heguel y Carolina, mi cuñada Lucy, mi hija Angie, y mis sobrinas Tey, Niki e Itzi, por ser el motor de mi vida, gracias por el apoyo y por darme la oportunidad de realizar mis estudios universitarios.

AGRADECIMIENTOS

A MI SUPERVISOR: Ing. Agr. Fredy Hernández Ola por su valiosa y oportuna colaboración en el presente documento. Por su tiempo, comprensión, ayuda y por compartir su conocimiento con mi persona.

A MI ASESOR: Ing. Agr. Juan Herrera por su colaboración y apoyo incondicional.

A MI EVALUADOR: Ing. Agr. Manuel Martínez por compartir sus conocimientos con mi persona y su valiosa colaboración.

A MIS CATEDRÁTICOS: Por compartir y brindarme sus conocimientos.

ÍNDICE GENERAL

Contenido	Página
ÍNDICE DE CUADROS.....	iv
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vi
RESUMEN GENERAL.....	viii
CAPITULO I.....	1
DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL DE LAS APLICACIONES DE FERTILIZANTES EN EL CULTIVO DE CAÑA DE AZÚCAR (<i>Saccharum officinarum</i> L.) EN LA FINCA EL CAPULLO, CHIQUIMULILLA, SANTA ROSA, GUATEMALA	
1.1 PRESENTACIÓN	2
1.2 MARCO REFERENCIAL	3
1.3 OBJETIVOS	5
1.4 METODOLOGÍA.....	6
1.5 RESULTADOS	7
1.5.1 Fuentes, dosis, épocas y formas de aplicación	7
1.5.2 Ventajas de la fertilización química	9
1.5.3 Desventajas de la fertilización química.....	9
1.5.4 Consecuencias de la fertilización química.....	10
1.5.6 Ventajas de la fertilización orgánica	12
1.5.7 Ácidos húmicos y fúlvicos	13
1.6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	14
1.7 BIBLIOGRAFÍA.....	15
CAPITULO II.....	16
EVALUACIÓN DE SEIS PRODUCTOS GRANULADOS A BASE DE ÁCIDOS HÚMICOS Y FÚLVICOS EN COMBINACIÓN CON UNA FERTILIZACIÓN COMPLETA Y UNA REDUCIDA UN TREINTA POR CIENTO PARA DETERMINAR LA RESPUESTA DEL CULTIVO DE CAÑA (<i>Saccharum officinarum</i> L.)	
2.1 PRESENTACIÓN	17
2.2 MARCO CONCEPTUAL.....	21
2.2.1 El ambiente agrícola tropical	21

	Página
2.2.2 Fertilidad del suelo	22
2.2.3 Requerimientos de nutrientes de la caña de azúcar	23
2.2.4 Fertilización química en la región cañera de Guatemala	24
2.2.5 Fuentes, dosis, épocas y formas de fertilización	24
2.2.6 Ventajas de la fertilización química	26
2.2.7 Desventajas de la fertilización química.....	26
2.2.8 Consecuencias de la fertilización química	27
2.2.9 Fertilización orgánica en la región cañera de Guatemala	28
2.2.10 Fuentes de fertilización orgánica	28
2.2.11 Ventajas de la fertilización orgánica	29
2.2.12 Desventajas de la fertilización orgánica	30
2.2.13 Sustancias húmicas	30
2.2.14 Ácidos húmicos y fúlvicos	30
2.2.15 Ventajas y características de utilizar ácidos húmicos y fúlvicos.....	34
2.2.16 Productos húmicos a aplicar en la investigación	35
2.3 OBJETIVOS	37
2.3.1 Objetivo General	37
2.3.2 Objetivos Específicos	37
2.4 HIPÓTESIS	37
2.5 METODOLOGÍA.....	38
2.5.1 Unidad experimental	38
2.5.2 Descripción de los tratamientos	39
2.5.3 Diseño experimental	39
2.5.4 Variables de respuesta.....	40
2.5.5 Metodología general	42
2.6 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	43
2.6.1 Biometría.....	43
2.6.2 Tonelaje de caña por hectárea (TCH)	55
2.6.3 Toneladas de azúcar por hectárea (TAH).....	60
2.7 CONCLUSIONES	66
2.8 RECOMENDACIONES.....	68

	Página
2.9 BIBLIOGRAFÍA.....	69
2.10 ANEXOS	71
CAPITULO III.....	73
SERVICIOS REALIZADOS EN LA FINCA EL CAPULLO, CHIQUIMULILLA, SANTA ROSA, GUATEMALA	
SERVICIO # 1: EVALUACIÓN DE ÁCIDOS HÚMICOS Y FÚLVICOS LÍQUIDOS	
3.1 PRESENTACIÓN.....	74
3.2 MARCO CONCEPTUAL	75
3.3 OBJETIVOS.....	77
3.4 METODOLOGÍA	78
3.5 RESULTADOS.....	83
3.6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	89
3.7 BIBLIOGRAFÍA	91
SERVICIO # 2: EVALUACIÓN DE FERTILIZANTES DE MEZCLA QUÍMICA CONTRA MEZCLA FÍSICA	
3.8 PRESENTACIÓN.....	92
3.9 MARCO CONCEPTUAL	93
3.10 OBJETIVOS.....	96
3.11 METODOLOGÍA	97
3.12 RESULTADOS.....	102
3.13 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	108
3.14 BIBLIOGRAFÍA	110
ANEXOS	111

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro		Página
Cuadro 1.	Características de los productos húmicos y fúlvicos a aplicar.	36
Cuadro 2.	Descripción de los tratamientos.	39
Cuadro 3.	Altura promedio de cada tratamiento con fertilización completa.....	43
Cuadro 4.	Altura promedio de cada tratamiento con fertilización reducida.	44
Cuadro 5.	Diámetro promedio por entrenudo medido y el diámetro promedio del tallo por cada tratamiento con fertilización completa.....	46
Cuadro 6.	Diámetro promedio por entrenudo medido y el diámetro promedio del tallo por cada tratamiento con fertilización reducida.	47
Cuadro 7.	Longitud promedio en centímetros por entrenudo medido de cada tratamiento con una fertilización completa.....	53
Cuadro 8.	Longitud promedio en centímetros por entrenudo medido de cada tratamiento con una fertilización reducida.	54
Cuadro 9.	Producción en libras y toneladas de caña por hectárea con una fertilización completa por cada unidad experimental.	57
Cuadro 10.	Producción en libras y toneladas de caña por hectárea con una fertilización reducida por cada unidad experimental.	58
Cuadro 11.	Cuadro del análisis de varianza realizado en Infostat® para TCH.....	59
Cuadro 12.	Cuadro del test Tukey realizado en Infostat® para las TCH.....	59
Cuadro 13.	Resultados del laboratorio y de los cálculos realizados para obtener el rendimiento y las toneladas cortas de azúcar por hectárea con una fertilización completa por cada tratamiento.....	61
Cuadro 14.	Resultados del laboratorio y de los cálculos realizados para obtener el rendimiento y las TAH cortas con una fertilización reducida por cada tratamiento.....	62
Cuadro 15.	Cuadro del análisis de varianza realizado en Infostat® para las TAH.	63
Cuadro 16.	Cuadro del test Tukey realizado en Infostat® para las TCH.....	64
Cuadro 17.	Dosis de los tratamientos por parcela y por hectárea.....	79
Cuadro 18.	Formas de aplicación de los tratamientos.	81
Cuadro 19.	Altura promedio de cada tratamiento.	83

Cuadro 20. Diámetro promedio en centímetros por entrenudo medido y el diámetro promedio de cada tratamiento.....	85
Cuadro 21. Longitud promedio en centímetros por entrenudo medido de cada tratamiento.	88
Cuadro 22. Dosis de los tratamientos por parcela y por hectárea.....	98
Cuadro 23. Forma de aplicación de los tratamientos.....	100
Cuadro 24. Altura promedio de cada tratamiento.	102
Cuadro 25. Diámetro promedio por entrenudo medido y el diámetro promedio de cada tratamiento.....	104
Cuadro 26. Longitud promedio en centímetros por entrenudo medido de cada tratamiento.....	107

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
Figura 1. Plano de la finca El Capullo donde se realizó el diagnóstico, la investigación y los servicios.....	4
Figura 2. Principales diferencias entre ácidos húmicos, fúlvicos y humina.	33
Figura 3. Croquis del ensayo de investigación	38
Figura 4. Alturas o longitudes promedios de los tallos por tratamientos con fertilización completa.	44
Figura 5. Alturas o longitudes promedios de los tallos por tratamientos con fertilización reducida.	45
Figura 6. Grosor promedio del entrenudo tres por tratamientos con una fertilización completa.....	47
Figura 7. Grosor promedio del entrenudo siete por tratamientos con una fertilización completa.....	48
Figura 8. Grosor promedio del entrenudo diez por tratamientos con una fertilización completa.....	48
Figura 9. Grosor promedio del tallo por tratamientos con una fertilización completa.....	49
Figura 10. Grosor promedio del entrenudo tres por tratamientos con fertilización reducida.....	49
Figura 11. Grosor promedio del entrenudo siete por tratamientos con fertilización reducida.....	50
Figura 12. Grosor promedio del entrenudo diez por tratamientos con fertilización reducida.....	50
Figura 13. Grosor promedio del tallo por tratamientos con una fertilización reducida.	51
Figura 14. Datos de los pesos en libras obtenidos por parcela (unidad experimental).....	56
Figura 15A. Aplicación de los productos de fertilización	71
Figura 16A. Incorporación al suelo de los productos de fertilización	71
Figura 17A. Medición de la altura del tallo de la caña de azúcar con un metro	72

Figura 18A. Medición de diámetros del tallo de la caña de azúcar con un vernier	72
Figura 19. Trazado y aleatorización de los tratamientos.....	80
Figura 20. Alturas o longitudes promedios por tratamientos.	84
Figura 21. Grosor promedio de entrenudo tres por tratamientos.	85
Figura 22. Grosor promedio de entrenudo siete por tratamientos.....	86
Figura 23. Grosor promedio de entrenudo diez por tratamientos.....	86
Figura 24. Grosor promedio del tallo por tratamientos.	87
Figura 25. Trazado y aleatorización de los tratamientos.....	99
Figura 26. Alturas o longitudes promedios por tratamientos.	103
Figura 27. Grosor promedio de entrenudo tres por tratamientos.	104
Figura 28. Grosor promedio de entrenudo siete por tratamientos.....	105
Figura 29. Grosor promedio de entrenudo diez por tratamientos.....	105
Figura 30. Grosor promedio del tallo por tratamientos.	106
Figura 31A. Bombas de mochila de 16 litros para la aplicación de los productos.....	111
Figura 32A. Recipientes para medir volumen de agua y hacer la mezcla de los productos.....	111
Figura 33A. Medición de la altura del tallo de la caña de azúcar con un metro.....	112
Figura 34A. Medición de diámetros del tallo de la caña de azúcar con un vernier.	112

RESUMEN GENERAL

Este diagnóstico es básicamente del manejo de fertilización que se le da al cultivo, tomando en cuenta las necesidades del cultivo y la variedad del mismo, enfocándose en dosis, aplicaciones y fertilizantes aplicados. El diagnóstico nos muestra una variedad de productos químicos aplicados a lo largo del ciclo del cultivo, algunas aplicaciones en excesivas dosis y en repetidas ocasiones. La contaminación por malas prácticas de fertilización es obvia y el impacto ambiental está presente y traerá consecuencias negativas ambientales, si no es que se hacen los cambios necesarios de estas prácticas, buscando productos compatibles con el medio ambiente y que se apliquen en menos ocasiones.

La caña de azúcar en Guatemala es básica en la economía del país. La producción del cultivo y exportación de azúcar a decenas de países genera trabajo para miles de guatemaltecos, generando ingresos importantes. Y una popularidad mundial de azúcar de calidad. El cultivo de caña de azúcar es el cultivo extensivo más importante económicamente en Guatemala, por delante del café y de la palma.

La investigación realizada en la finca la cual consistió en evaluar los efectos que producen abonos hechos a bases de ácidos húmicos y fúlvicos en el cultivo de caña de azúcar. El objetivo de evaluar estos abonos es buscar y proponer una alternativa a las prácticas de fertilización, con productos compatibles con el medio ambiente que permitan mejorar el suelo, disminuir las aplicaciones de fertilizantes y así mismo reducir costos a la empresa. Los ácidos húmicos y fúlvicos se proponen como una buena alternativa y opción, por el auge y la importancia que estos productos han tenido en los cultivos extensivos a nivel mundial. Estas enmiendas orgánicas traen beneficios muy complejos e importantes a los suelos y por tanto al desarrollo y crecimiento fisiológico de las plantas y a las mejoras de las condiciones medioambientales.

Se evaluaron seis tratamientos, seis abonos granulados hechos a bases de ácidos húmicos y fúlvicos aplicados al inicio del ciclo del cultivo en una sola dosis y una sola aplicación. Las variantes y parámetros evaluados son los de biometría, tonelaje de caña por hectárea (TCH) y tonelaje de azúcar por hectárea (TAH). Evaluando estas variantes se pretende conocer los efectos de estos productos en el desarrollo y

crecimiento de las plantas, así como la producción de sacarosa. El modelo estadístico aplicado fue un modelo lineal para un diseño de parcelas divididas con estructura en parcelas en bloques al azar.

Los dos servicios realizados en la finca El Capullo de la misma manera se enfocaron, en la búsqueda de otras alternativas y otras opciones en el manejo de la fertilización del cultivo de caña de azúcar. La variable medida en ambos servicios únicamente fue la biometría.

En el primer servicio se evaluaron productos de fertilización líquidos hechos a bases de húmicos y fúlvicos. Los resultados de biometría nos indican que la aplicación del tratamiento 9 (Humiplex / K-tionic) es el mejor ya que presenta los datos biométricos más altos sobre los demás tratamientos. Solo en la medición de esta variante se manifiestan los efectos de la combinación de estos productos.

En el segundo servicio se evalúan diferentes fuentes de fertilización química en comparación con productos de fertilización física. El objetivo principal es conocer cuál de estas mezclas produce un mejor desarrollo y crecimiento del cultivo de caña de azúcar. Los resultados de biometría nos indican que la aplicación del tratamiento 6 (mezcla física) presenta los datos biométricos más altos sobre los demás tratamientos.

The seal of the Universidad de San Carlos de Guatemala is a circular emblem. It features a central figure of a woman in a red dress and white headscarf, holding a book. Above her is a golden crown with a cross on top. To the left is a golden castle, and to the right is a golden lion rampant. Below the central figure is a landscape with green hills and a white path. A figure in a blue outfit is riding a white horse along the path. The entire scene is set against a light blue background. The seal is surrounded by a grey border containing the Latin text: "UNIVERSITAS CAROLINA ACADÉMICA COACTEMALENSIS INTER CÆTERA VIRIBUS CONSPICUA".

CAPITULO I.

DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL DE LAS APLICACIONES DE FERTILIZANTES EN EL CULTIVO DE CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum officinarum* L.) EN LA FINCA EL CAPULLO, CHIQUIMULILLA, SANTA ROSA, GUATEMALA.

1.1 PRESENTACIÓN

En el diagnóstico realizado tuvo como objetivo conocer de forma objetiva la situación actual de las metodologías y procesos de fertilización llevados a cabo en la finca El Capullo en Chiquimulilla, Santa Rosa, Guatemala a cargo del ingenio Magdalena S.A. Todo esto con el fin de comprender sus necesidades y fortalezas para encontrar puntos a mejorar en el área. Por lo que siguiendo con los objetivos de la empresa se busca ser más eficientes y eficaces en los métodos y procesos de fertilización, así como en todos los procesos de producción.

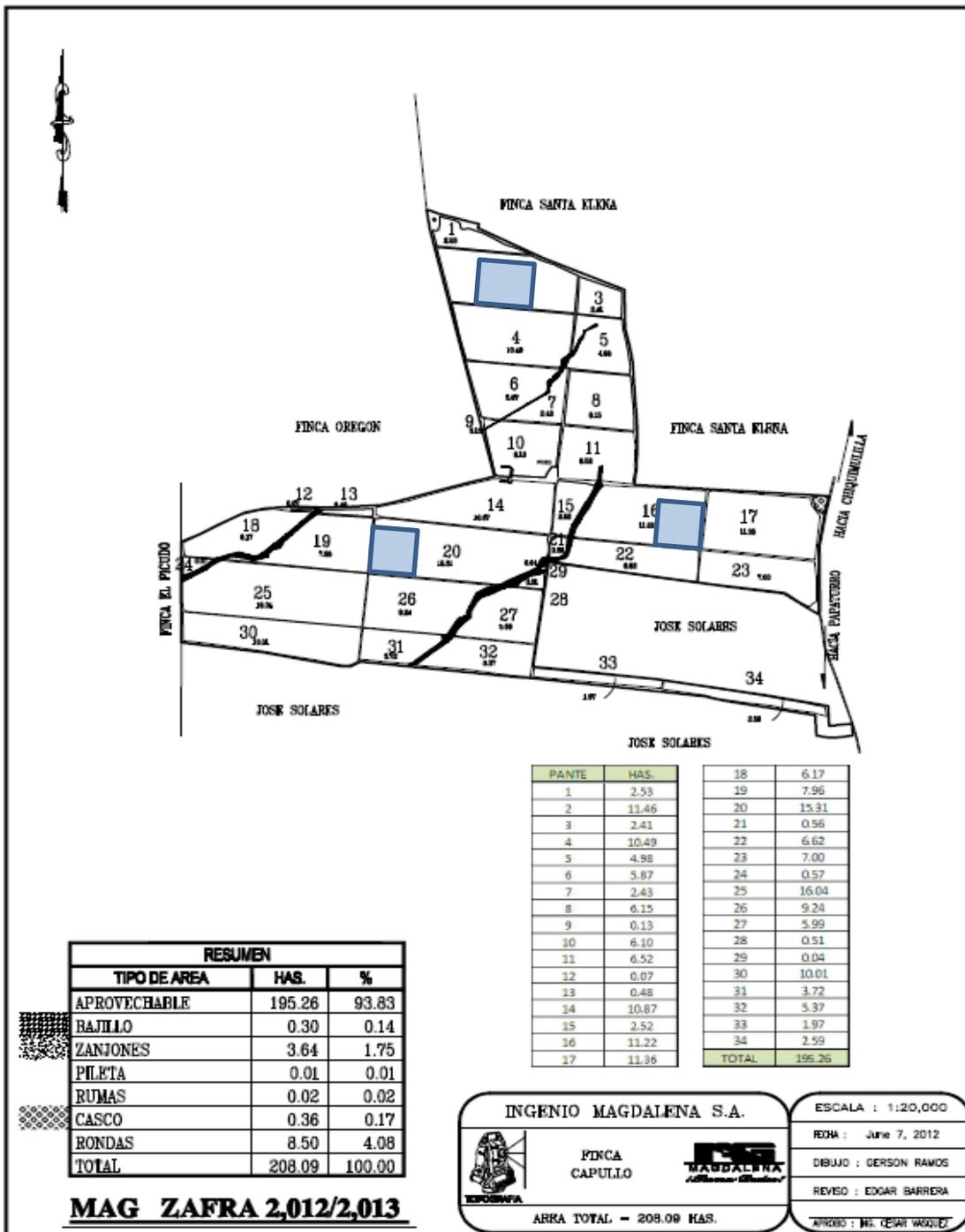
La producción que el Ingenio Magdalena realiza en la finca El Capullo se hace con fertilización convencional, es decir, con aplicaciones de fertilizantes químicos para la aportación de nutrientes con el fin de obtener mayores rendimientos.

1.2 MARCO REFERENCIAL

Este diagnóstico se realizó en la finca El Capullo, Chiquimulilla, Santa Rosa. La finca tiene colindancia al norte con la finca Santa Elena y la finca Oregon, al sur colinda con José Solares, al oeste con la finca El Picudo y al este se encuentra el camino que lleva a Chiquimulilla o Papaturo. En la figura 1 se muestra el plano de la finca y se marca en pante # 20, donde se realizó la investigación (Melgar Mario, 2014).

El municipio de Chiquimulilla está situado en el sur del departamento de Santa Rosa, Región suroriental de Guatemala. Se localiza en la latitud 14° 05' 13" y en la longitud 90° 22' 48". Está limitado al norte con el municipio de Cuilapa y Pueblo Nuevo Viñas (ambos municipios de Santa Rosa); al sur con el Océano Pacífico; al este con Pasaco y Moyuta (municipios de Jutiapa), Santa María Ixhuc y San Juan Tecuaco (municipios de Santa Rosa); y al oeste con el municipio de Guazacapán de departamento de Santa Rosa (Melgar Mario, 2014).

El clima del municipio es cálido tropical, la altitud media es de 294 m.s.n.m. La temperatura máxima media oscila entre los 32 °C a 38 °C, la temperatura media oscila entre los 26 °C y 31 °C y la temperatura mínima media oscila entre los 22 °C y 25 °C. La precipitación total anual es de 2,254 mm. La humedad relativa es del 85%. Las principales zonas de vida son: Bosque muy húmedo subtropical y bosque seco subtropical (Melgar Mario, 2014).



Fuente: Ingenio Magdalena, 2015

Figura 1. Plano de la finca El Capullo donde se realizó el diagnostico, la investigación y los servicios.

1.3 OBJETIVOS

Objetivo general

Conocer el estado actual de las aplicaciones de fertilizantes en el cultivo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), en la finca El Capullo, Chiquimulilla, Santa Rosa, del Ingenio Magdalena S.A.

Objetivos específicos

- a) Describir las fuentes, dosis, épocas y formas de aplicación de los fertilizantes utilizados en el cultivo de caña de azúcar en la finca El Capullo.
- b) Identificar los problemas actuales y sus consecuencias debido a la fertilización y su manejo en el cultivo de caña de azúcar en la finca El Capullo.
- c) Aportar soluciones efectivas con bases científicas y tecnológicas a los problemas de fertilización para mejorar la situación actual y futura en el cultivo de caña de azúcar en la finca El Capullo.

1.4 METODOLOGÍA

- I. Recolección de información del historial (datos y registros) de las aplicaciones de fertilizantes utilizados en la finca, para conocer fuentes, dosis, épocas y formas de aplicación.
- II. Observación de la metodología y los procesos de fertilización en la finca para conocer sus ventajas, desventajas y conveniencias.
- III. Charlas con el personal de campo que realiza las aplicaciones de fertilizantes, así como también con el personal encargado de administrar y definir los procesos de fertilización en la finca.
- IV. Análisis de la información primaria y secundaria e identificación de los problemas actuales y sus consecuencias en la metodología y el proceso de fertilización de la finca.
- V. Búsqueda y propuestas efectivas con bases científicas y tecnológicas de soluciones a los problemas y consecuencias negativas de las aplicaciones de fertilizantes en la finca.

1.5 RESULTADOS

1.5.1 Fuentes, dosis, épocas y formas de aplicación

La fertilización en la caña de azúcar de la finca El Capullo se realiza mediante productos químicos; sus fuentes, dosis, épocas y formas de aplicación se describen a continuación.

I. Nitrógeno (N)

- Fuentes:

Urea ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$): 46% de N en forma de amida (NH_2).

- Dosis:

En caña plantía (estaca); en este caso donde predominan los suelos Mollisoles y Entisoles con contenidos de materia orgánica menores al 3% se realizan aplicaciones de 80 kg N/ha.

En caña soca; las dosis están en función de los rendimientos de caña esperados en tonelaje de caña por hectárea (TCH), utilizando la relación por tonelada de caña (N:TCH), en este caso se realizan aplicaciones de 100 a 150 kg N/ha.

- Épocas y formas de aplicación:

Para caña plantía se realiza una sola aplicación entre los 45 y 60 días después de la siembra, incorporándolo al suelo en ambos lados del surco.

Para caña soca se realiza una sola aplicación a los 30 días después del corte (ddc) en banda e incorporándolo en ambos lados del surco.

II. Fósforo (P)

- Fuentes:

Fosfato mono amónico (MAP): 52% de P_2O_5 .

- Dosis:

En caña plantía; en este caso donde los niveles de P en el suelo van de 10 a más de 30 partes por millón (ppm) se realizan aplicaciones de 60 kg P/ha.

En caña soca; no se aplica, solo cuando los niveles de P son menores a 10 ppm y las dosis recomendadas cuando esto sucede son de 40 a 25 kg P/ha.

- Épocas y formas de aplicación:

Para caña plantía se realiza una sola aplicación entre los 45 y 60 días después de la siembra, incorporándolo al suelo en ambos lados del surco.

Para caña soca se realiza una sola aplicación a los 30 días después del corte (ddc) en banda e incorporándolo en ambos lados del surco.

III. Potasio (K)

- Fuentes:

Muriato de potasio (MOP): 60% de K_2O

- Dosis:

En caña plantía; en este caso donde el contenido de arcilla en los suelos es mayor al 35% y el K intercambiable del suelo es menor a 100 ppm se realizan aplicaciones de 80 kg K /ha.

En caña soca; en este caso se hacen aplicaciones de 40 a 60 kg K / ha.

- Épocas y formas de aplicación:

Para caña plantía se realiza una sola aplicación entre los 45 y 60 días después de la siembra, incorporándolo al suelo en ambos lados del surco.

Para caña soca se realiza una sola aplicación a los 30 días después del corte (ddc) en banda e incorporándolo en ambos lados del surco.

1.5.2 Ventajas de la fertilización química

- I. *Nutrientes disponibles inmediatamente*; esta es la característica más importante de este tipo de fertilización, ya que al aplicar los nutrientes en forma de minerales solubles las plantas tienen la disponibilidad de absorberlos inmediatamente (O'Hallorans Julia, 2009).
- II. *Se puede calcular la cantidad de nutrientes que se aplica*; esta característica es elemental en el cuidado del suelo y del medio ambiente, pero en muchos casos falla, ya que no se aplican las cantidades correctas debido a los malos cálculos de las dosis, las malas prácticas de aplicación y en el deseo de lograr una mejora de producción se aplican cantidades excesivas.

1.5.3 Desventajas de la fertilización química

- I. *Cambios y alteraciones en el suelo y el ambiente*; la aplicación en exceso o continua de estos fertilizantes acidifica los suelos, favorece la erosión, afecta los organismos (flora y fauna) y altera las propiedades químico-físicas de los componentes del suelo (Villareal Dalia, 2012).

- II. *Nutrientes se pueden lavar con facilidad*; este problema conduce a la degradación del suelo por lixiviación de sustancias que llegan a los cuerpos de aguas subterráneas afectando directamente sus propiedades químicas y físicas (Villareal Dalia, 2012).

- III. *Fácil de aplicar en exceso o deficiencia*; este es sin duda la causa de todos los problemas relacionados con este tipo de fertilización, debido a que las aplicaciones son excesivas en la búsqueda de mejorar los rendimientos y producción.

1.5.4 Consecuencias de la fertilización química

Los excesos de nitrógeno y fosfatos pueden infiltrarse por lixiviación en las aguas subterráneas o ser arrastrados a ríos que recogen efluentes provenientes de las áreas agrícolas, contaminando el recurso hídrico y provocando serios perjuicios para la atmósfera y para el agua que consumimos. Esta sobrecarga de nutrientes provoca la eutrofización de lagos y estanques, dando lugar a una sobrepoblación de algas que consumen oxígeno y suprimen otras plantas y animales acuáticos (González Fernando, 2011).

Los fosfatos son adsorbidos por los componentes del suelo (material orgánica y arcillas) y en condiciones de bajo pH, limitando la cantidad de fosfatos disponible para las plantas. Algunas bases de ácidos como los nitratos y los sulfatos provenientes de la preparación de los fertilizantes se convierten en ácido sulfúrico y nítrico que aumentan la acidez y reaccionan con los minerales del suelo afectando la vida de los microorganismos presentes, favoreciendo la erosión y alterando las propiedades del suelo. Los gases que emiten los cultivos con índices de nitrógeno muy elevados favorecen el calentamiento global de la tierra (González Fernando, 2011).

Los problemas más importantes de la fertilización química son a causa de los nitratos, ya que pueden ser reducidos a nitritos en el interior del organismo humano, especialmente en los niños menores de tres meses de edad, produciendo la transformación de la hemoglobina a metahemoglobina que no es capaz de captar y

ceder oxígeno de forma funcional en nuestro sistema. Los nitritos, pueden reaccionar con las aminas, sustancias ampliamente presentes en nuestro organismo, originando las nitrosaminas, un tipo de compuestos sobre cuya acción cancerígena no existen dudas (González Fernando, 2011).

1.5.5 Fertilizaciones orgánicas

En la finca El Capullo no se han practicado; no se tienen registros ni se tienen investigaciones sobre productos orgánicos utilizados para la fertilización del cultivo de caña de azúcar. Cengicaña en conjunto con los ingenios de la región cañera de Guatemala han realizados investigaciones sobre fuentes alternativas de fertilizantes, enfocándose principalmente en productos orgánicos.

1.5.5.1 Cachaza

Es un residuo en forma de sedimento que resulta de la clarificación del jugo de caña en la fabricación de azúcar. Tiene altos contenidos de carbono orgánico, fósforo, calcio y en menores cantidades nitrógeno. Es utilizado en la fertilización y mejoramiento de los suelos agrícolas. Las aplicaciones incrementan los niveles de fósforo disponible en el suelo. Los mayores incrementos de TCH observados se han dado con aplicaciones de cachaza en suelos pobres, como los Entisoles superficiales con baja retención de humedad (Pérez Ovidio, 2014).

La cachaza aplicada en la superficie total del suelo incorporada con las labores antes de la siembra reduce el 50% de la fertilización nitrogenada al usar de 100 a 200 ton/ha y también puede reducir el 100% al usar dosis altas como 300 ton/ha o más (Pérez Ovidio, 2014).

1.5.5.2 Vinaza

Es un residuo líquido proveniente de la destilación del alcohol y está constituido principalmente por agua, materia orgánica y minerales, entre los cuales el potasio es el más abundante. Existen resultados positivos en el aumento de la productividad en distintos suelos, economía en el uso de los fertilizantes químicos y mejoramiento de los suelos en general. En promedio con la dosis más alta (120 m³/ha) se obtuvo un incremento anual de 16.6 TCH con relación al testigo sin vinaza (Pérez Ovidio, 2014).

El uso de dosis altas de vinaza mayores a 60m³/ha resulta atractivo por los incrementos esperados en tonelajes y en la reducción potencial de la dosis de nitrógeno; sin embargo, la vinaza aplicada en niveles altos en forma continuada puede aumentar significativamente los niveles de potasio intercambiable del suelo (Pérez Ovidio, 2014).

1.5.5.3 Abonos verdes

Constituyen una opción para reducir el uso de fertilizantes nitrogenados en el cultivo de caña de azúcar y es una práctica que ayuda a mejorar la productividad y sostenibilidad del cultivo. Introducir un cultivo como las leguminosas en el sistema convencional de caña trae, además una serie de beneficios directos e indirectos al romper el monocultivo de caña. El intercalado de *Canavalia ensiformis* en los entresurcos de la caña de azúcar, en las renovaciones y socas, podría ser una opción potencial en suelos con altos contenidos de materia orgánica como los suelos Andisoles superficiales; en este sistema se observaron incrementos promedios de 5.3% en la producción de caña en 4 ciclos (plantía y tres socas) sin aplicación de nitrógeno en cuatro años (Pérez Ovidio, 2014).

1.5.6 Ventajas de la fertilización orgánica

- I. *Provee nutrientes necesarios:* nutren con los elementos necesarios para el metabolismo y desarrollo de las plantas. Esta característica varía con respecto a la

o las fuentes de la materia orgánica y las cantidades de elementos presentes varían en considerablemente para la nutrición vegetal (Arquello David, 2014).

- II. *Liberación lenta de nutrientes:* esta característica permite en tiempo tener una adecuada mineralización de los nutrientes, ayudando directamente al suelo y al medio ambiente (Arquello David, 2014).

- III. *Mejora las propiedades físicas, químicas y biológicas:* los suelos mejoran todas sus características relacionadas con la fertilidad. Mejoran su estructura y textura para tener mejor relación suelo-aire-agua, mejoran la capacidad de intercambio catiónico (CIC), mejoran la cantidad de materia orgánica y mejoran el tipo y cantidad de microorganismos (Arquello David, 2014).

- IV. *Beneficios ecológicos/ambientales:* esta es la característica más importante, ya que se produce en armonía con la naturaleza y el ambiente. Se cumple con el objetivo de una agricultura sostenible nutricional humana y vegetal (Arquello David, 2014).

1.5.7 Ácidos húmicos y fúlvicos

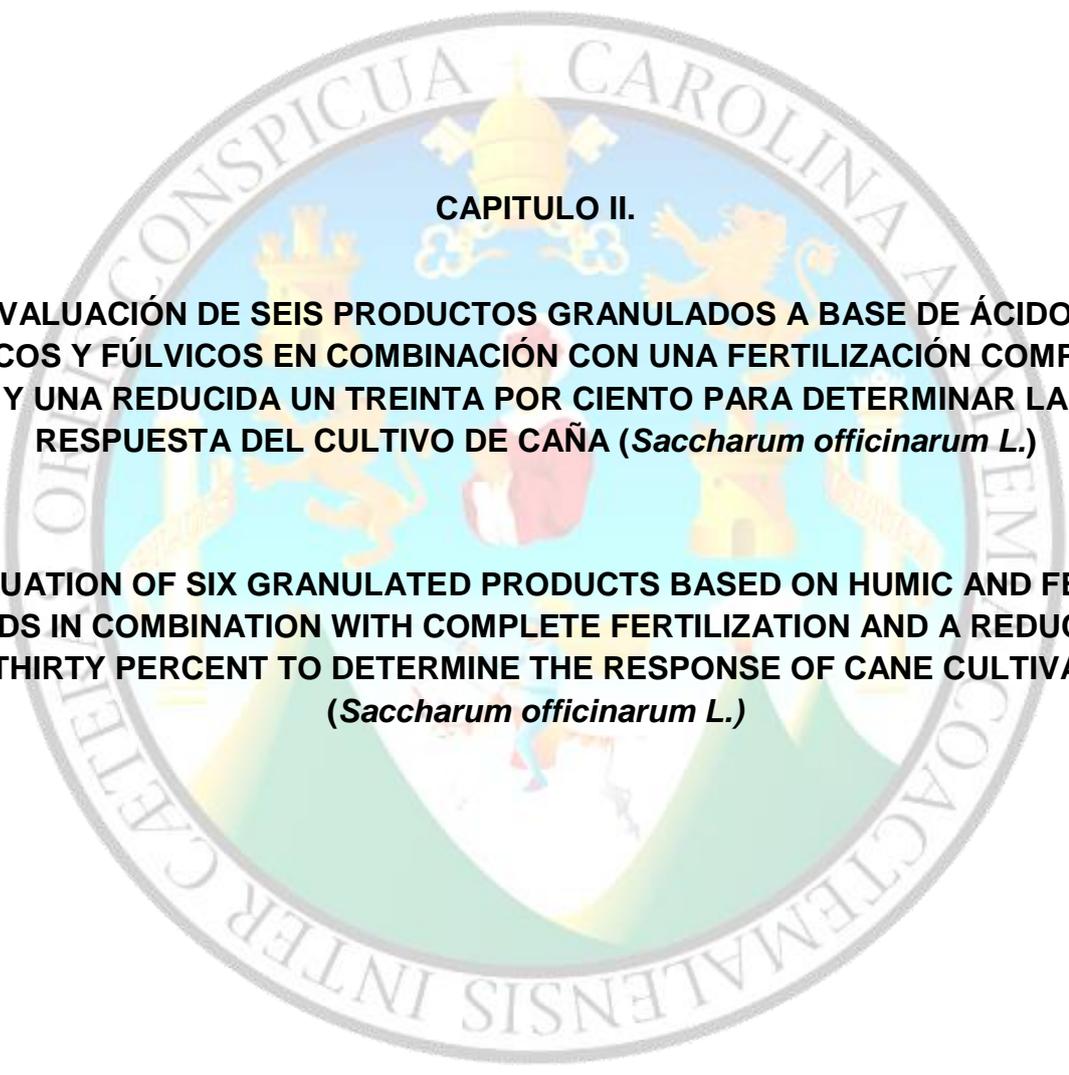
Estos productos son comercializados y vendidos como enmiendas orgánicas y son un excelente complemento a la fertilización química basada en el NPK. Estos promueven la mejora de la actividad nutricional del suelo; aumentan la asimilación de los macro y microelementos, incrementan la capacidad de intercambio catiónico (CIC), mejoran el valor nutricional del suelo; promueven la conversión y quelatización de un número de elementos menores hacia formas disponibles a las plantas, favorecen el crecimiento de varios microorganismos benéficos y favorecen los procesos energéticos de las plantas (Arquello David, 2014).

1.6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- a)** La actualidad en la finca es la práctica de la fertilización química que también es conocida como fertilización inorgánica o convencional. Se hacen aplicaciones de las sustancias inorgánicas más conocidas (Urea, MAP MOP) prácticamente para aumentar la capacidad productiva de los suelos y el rendimiento de cosechas. Estos fertilizantes son los más conocidos y usados, especialmente en la agricultura de cultivos extensivos. Se caracterizan porque se disuelven con facilidad en el suelo y, por lo tanto, las plantas disponen de los nutrientes al aplicarlos o pocos días después de la aplicación.
- b)** La aplicación de estos fertilizantes están teniendo consecuencias y un impacto ambiental negativo. Las enmiendas orgánicas en los cultivos extensivos ha tomado gran importancia debido a las propiedades y características que se devuelven al suelo y al ambiente, y en consecuencia de los problemas que ha traído los fertilizantes químicos. Por estos motivos, en especial el de reducir las aplicaciones de fertilizantes químicos llegamos a la necesidad de buscar y proponer nuevas alternativas para la fertilización en la finca. La aplicación de enmiendas orgánicas como lo son los ácidos húmicos y fúlvicos trae consecuencias positivas al suelo, ambiente y al cultivo, siendo estos una opción importante y tomada en cuenta para ser evaluada en la finca.
- c)** Los ácidos húmicos y fúlvicos son productos procedentes de la descomposición de la materia orgánica y compuestos nitrogenados, tanto cíclicos como alifáticos, sintetizados por ciertos microorganismos presentes en suelo. Son complejas agrupaciones macromoleculares en las que las unidades fundamentales son compuestos aromáticos de carácter fenólico y generalmente provienen de la Leonardita (Arquello David, 2014). La combinación de una fertilización química con una fertilización orgánica; en especial con ácidos húmicos y fúlvicos, trae consecuencias benéficas al suelo y por consiguiente a las producciones agrícolas. Con la aplicación de estos fertilizantes orgánicos se logra disminuir las aplicaciones de fertilizantes químicos, logrando mejorar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, además de lograr una producción con altos rendimientos y en armonía con el medio ambiente en los cultivos extensivos.

1.7 BIBLIOGRAFÍA

1. Aquello, D. 2014. Importancia de los ácidos húmicos y fúlvicos en la agricultura (en línea). Nicaragua, RAMAC. Consultado 19 feb. 2015. Disponible en <http://www.ramac.com.ni/?p=1435>
2. Gonzáles Huiman, FS. 2011. Contaminación por fertilizantes: “un serio problema ambiental” (en línea). Perú, Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible. Consultado 19 feb. 2015. Disponible en <http://fgonzalesh.blogspot.com/2011/01/contaminacion-por-fertilizantes-un.html>
3. Melgar, M; Meneses, A; Orozco, H; Pérez, O; Espinosa, R. 2014. Cultivo de la caña de azúcar en Guatemala. Guatemala, CENGICAÑA. Consultado 12 feb. 2015. Disponible en <https://es.slideshare.net/mmelgar0506/libro-el-cultivo-de-la-cao-de-azcar-16-febdoc>
4. O'Hallorans, J. 2009. Fertilización de suelos en la producción orgánica (en línea). Puerto Rico, Universidad de Puerto Rico, Estación Experimental Agrícola Río Piedras. Consultado 20 feb. 2015. Disponible en http://academic.uprm.edu/mbarragan/OHallorans_Fertilizacion.pdf
5. Villareal, D. 2012. Concepto de fertilizantes químicos (en línea). España, Fertilizantes Químicos. Consultado 20 feb. 2015. Disponible en <http://ilovemyplanet123.blogspot.com/2012/11/que-es-un-fertilizante-las-plantas-para.html>

The seal of the University of Carolina at Wilmington is a circular emblem. It features a central shield with a red and white design, flanked by two golden lions. Above the shield is a golden crown. The shield is set against a blue background with a white cross. The entire emblem is surrounded by a grey border containing the Latin motto "OHIO CONSPICUA CAROLINA ACADEMIA COACTEMALENSIS INTER CAETHEHO".

CAPITULO II.

EVALUACIÓN DE SEIS PRODUCTOS GRANULADOS A BASE DE ÁCIDOS HÚMICOS Y FÚLVICOS EN COMBINACIÓN CON UNA FERTILIZACIÓN COMPLETA Y UNA REDUCIDA UN TREINTA POR CIENTO PARA DETERMINAR LA RESPUESTA DEL CULTIVO DE CAÑA (*Saccharum officinarum* L.)

EVALUATION OF SIX GRANULATED PRODUCTS BASED ON HUMIC AND FELVIC ACIDS IN COMBINATION WITH COMPLETE FERTILIZATION AND A REDUCED ONE THIRTY PERCENT TO DETERMINE THE RESPONSE OF CANE CULTIVATION (*Saccharum officinarum* L.)

2.1 PRESENTACIÓN

En Guatemala el cultivo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum L.*) es uno de los más antiguos, la producción del cultivo data a finales del siglo XVI (Robles Elsa, 2012). Con la producción de este cultivo se introdujo al país nuevas tecnologías para el procesamiento de la caña y se mejoró la infraestructura de comunicación y transporte, contribuyendo directamente en el desarrollo y progreso de Guatemala. Actualmente existen 230,000 ha de caña de azúcar cultivadas en Guatemala, el Ingenio Magdalena, S.A. tiene 48,212 ha según dato de Adlai Meneses Coordinador del programa de transferencia de tecnológica y capacitación de CENGICAÑA.

Llevar al cultivo de caña de azúcar a mejores rendimientos y lograr una mejora de producción, depende en parte con el tipo y la calidad del suelo; elementos presentes, estructura, textura, contenido de materia orgánica, microorganismos y otros factores físicos, químicos y biológicos. Estas características del suelo pueden ser manejadas con aplicaciones de fertilizantes minerales solubles y enmiendas orgánicas.

Los sistemas de producción agrícola convencional están basados en aplicaciones de fertilizantes minerales (fertilizantes químicos) y son aplicados continuamente y en grandes cantidades, que conllevan a la degradación del suelo por lixiviación de nutrientes, pérdida de materia orgánica, quedando afectada la fertilidad de los suelos. En muchos casos no se tienen en cuenta los mecanismos de absorción de la planta, ni los equilibrios entre la planta y el suelo, ni las consecuencias que estos productos químicos traen al ecosistema.

En la actualidad se aplican dosis altas y continuas de fertilizaciones químicas, basándose en la aportación de nutrientes para obtener mayores rendimientos. Éstos se utilizan en mayor cantidad de la que pueden absorber los cultivos y con esta práctica también se promueve la degradación ambiental, generando la necesidad de emplear grandes cantidades de agroquímicos, aumentando más los costos de producción. Con todos estos problemas se llega a la conclusión de reducir las aplicaciones de fertilizantes químicos, además de establecer nuevas alternativas para el uso de recursos naturales renovables, mediante una producción agrícola sostenible.

La mejora del suelo es uno de los pilares fundamentales de una producción adecuada. Los ácidos húmicos y fúlvicos forman parte de la materia orgánica del suelo y se conocen comúnmente como humus, no toda la materia orgánica es humus, ni sus efectos en el suelo y las plantas es igual. Se considera humus a la parte estable y difícilmente degradable de la materia orgánica del suelo y son productos que no mantienen similitudes físicas y/o químicas con los materiales de los que proceden (Payeras Antoni, 2011). Estos productos se comercializan como fertilizantes granulados y líquidos para aplicaciones al suelo y foliares en cultivos extensivos.

Tradicionalmente en los cultivos extensivos es habitual encontrar el uso de químicos como plaguicidas, fertilizantes y herbicidas. Estas malas prácticas en el cultivo de la caña de azúcar han agotado el “humus” del suelo y la capacidad de intercambio catiónico (C.I.C.), y en consecuencia el bloqueo de macro y micro elementos, afectando directamente la fertilidad de los suelos. Los cultivos sufren los efectos de la contaminación del suelo por estos componentes químicos, por lo que ya se está introduciendo cada vez más el uso de fertilizantes orgánicos para contrarrestar los efectos adversos.

En la actualidad la aplicación de materia orgánica en los cultivos extensivos han tomado gran importancia debido a las propiedades y características que se devuelven al suelo y al ambiente, y en consecuencia de los problemas que ha traído los fertilizantes químicos. Una mayor productividad y una menor tendencia a las enfermedades ocasionadas por agroquímicos hacen que los fertilizantes orgánicos se empleen cada vez más.

La combinación de una fertilización química con una fertilización orgánica; en especial con ácidos húmicos y fúlvicos, trae consecuencias benéficas al suelo y por consiguiente a las producciones agrícolas. Estos promueven la mejora de la actividad nutricional del suelo; aumentan la asimilación de los macro y microelementos, promueven la conversión y quelatización de un número de elementos menores hacia formas disponibles a las plantas, favorecen el crecimiento de varios microorganismos benéficos y así favorecen los procesos energéticos de las plantas (Arquello David, 2014).

Con todos estos beneficios que promueven los ácidos húmicos y fúlvicos en combinación con los fertilizantes minerales solubles, se llegó a la necesidad de la exploración para enriquecer los conocimientos y así determinar la respuesta en el cultivo de caña de azúcar, con el fin de mejorar el desarrollo y producción de la caña de azúcar, reducir las aplicaciones de fertilizantes químicos, reducir los costos del proceso de fertilización, mejorar las condiciones del suelo y cuidar el medio ambiente

Los resultados obtenidos por la aplicación de productos a base de ácidos húmicos y fúlvicos en la finca indican que no existen diferencias significativas entre estos, ni entre productos de fertilización y el testigo. Estas diferencias se manifiestan a los seis meses de edad del cultivo en los datos biométricos obtenidos en la medición de la longitud y del diámetro del tallo de la caña de azúcar, así como también del número y longitud de entrenudos en los tallos, los datos de los tratamientos en general son similares y la diferencia entre estos varía apenas unos centímetros, existiendo mínimas diferencias o diferencias no significativas.

Estas diferencias se vuelven a manifestar el día de la zafra. El día de la cosecha se pesa por parcela cada tratamiento y se obtienen los datos para conocer las toneladas de caña por hectárea. Estos datos se manifestaron en el rango de producción conocido en la finca y también fueron datos que al ser analizados en Infostat® mostraron que no existen diferencias significativas en cuanto al tonelaje de caña por hectárea (TCH), pero si existen diferencias significativas en cuanto al tonelaje de azúcar por hectárea (TAH). No existen diferencias significativas entre productos, pero si entre el tratamiento 6 (Humalite) con una fertilización completa y el tratamiento 7 (testigo) con una fertilización reducida.

Se observa claramente en esta investigación que las dosis de fertilización convencional realizada a base de fertilizantes químicos granulados en la finca, son aplicaciones en exceso, las dosis son más de lo que el cultivo requiere. La diferencia entre la fertilización completa y la reducida un treinta por ciento no se manifiesta, dejando el claro que se necesita realizar un análisis completo del suelo, con el fin de conocer y comprende la composición y cantidades de elementos presentes en el suelo, para saber las necesidades del cultivo y las cantidades correctas de aplicación.

La investigación realizada en caña de azúcar en la finca el Capullo del municipio de Chiquimulilla, Santa Rosa, deja en claro que la evaluación de rendimiento y producción vuelve a ser similar a producciones anteriores de la finca; manteniéndose en el mismo rango las TCH y las TAH a años anteriores. La única aplicación de cinco diferentes productos fúlvicos y húmicos granulados, se realizó el día de la siembra al fondo del surco, incorporando los gránulos al suelo. Está claro que en esta evaluación no se manifestó un efecto positivo en la producción y rendimiento, y que para apreciar los efectos de estos productos se necesita más de una aplicación y de más tiempo para observar los resultados en las mejoras del cultivo, del suelo y del ambiente.

2.2 MARCO CONCEPTUAL

Las características físico-químicas del suelo, deben ser conocidas por el productor agrícola, ya que el crecimiento y desarrollo de los cultivos, la cantidad y calidad de las cosechas, están en relación directa con los nutrimentos y las características de los suelos.

El rendimiento de un cultivo es afectado por diversos factores, entre los que ocupa un lugar importante la disponibilidad de los nutrimentos esenciales para las plantas en el suelo. Cuando estos nutrimentos no están en cantidades adecuadas, hay necesidad de adicionar fertilizantes químicos o enmiendas para suplir las necesidades y corregir condiciones adversas.

2.2.1 El ambiente agrícola tropical

En las zonas tropicales, favorecidas por las temperaturas cálidas y altos porcentajes de humedad durante todo el año tanto la producción de biomasa como la combustión de las mismas a través de las transformaciones biológicas, son procesos muy intensos. Bajo estas condiciones, el suelo tropical, generalmente se constituye en un sistema frágil cuando es sometido por la acción del hombre a sus actividades agrícolas y en donde el equilibrio de las transformaciones, principalmente en lo referente a la materia orgánica se ve sometido a una grave amenaza (Cubero Diógenes, 1999).

Es sabido que el patrón de comportamiento en el contenido de materia orgánica en los trópicos tiende a reducirse con el uso agrícola. La velocidad e intensidad de este proceso depende del balance de materia orgánica en el sistema de producción respectivo y a su degradación debida a factores antrópicos (Cubero Diógenes, 1999).

En algunos suelos suelen presentarse contenidos medios a bajos de materia orgánica, así mismo, la capacidad de intercambio catiónico (C.I.C.) de ellos, puede ser un factor muy dependiente de la fracción orgánica, ya que por el tipo de arcilla y/o la cantidad de esta, la C.I.C. de la fracción mineral suele ser pequeña. Esta es una de las razones del

porque en estos suelos, la eficiencia de los fertilizantes químicos se ve reducida, cuando pierden parte de su materia orgánica (Cubero Diógenes, 1999).

2.2.2 Fertilidad del suelo

Cuando se habla de “fertilidad” de un suelo se aborda el recurso edáfico desde la perspectiva de la producción de cultivos. Así, la fertilidad de un suelo es la capacidad que tiene el mismo de sostener la del crecimiento de los cultivos. Esta es una definición agronómica. En definiciones más modernas se incluye la rentabilidad y la sustentabilidad de los agro-ecosistemas. Muchas veces se divide a la fertilidad en “química”, “física” y “biológica” para su abordaje particular, pero muchas veces resulta complicado separarlas (Torres Mattín, 2008).

2.2.2.1 Fertilidad química

La fertilidad química se refiere a la capacidad que tiene el suelo de proveer nutrientes esenciales a los cultivos (aquellos que de faltar determinan reducciones en el crecimiento y/o desarrollo del cultivo). En este sentido se evalúa la disponibilidad de nutrientes en el suelo a través de análisis de suelos y/o plantas a través de un proceso de diagnóstico y posteriormente se definen estrategias de fertilización (Torres Mattín, 2008).

2.2.2.2 Fertilidad física

La fertilidad física está relacionada con la capacidad del suelo de brindar condiciones estructurales adecuadas para el sostén y crecimiento de los cultivos. Aspectos como la estructura, espacio poroso, retención hídrica, densidad aparente, resistencia a la penetración, entre otras, son algunas de las variables que se analizan en estudios de fertilidad física de suelos (Torres Mattín, 2008).

2.2.2.3 Fertilidad biológica

La fertilidad biológica se vincula con los procesos biológicos del suelo, relacionados con sus organismos, en todas sus formas. Los organismos del suelo son imprescindibles para sostener diversos procesos del suelo. Posiblemente sea el área de conocimiento edafológico menos desarrollada, pero con algunos avances interesantes en los últimos años en lo que se refiere a estudios enzimáticos (bioquímica de suelos) y ecología microbiana de suelos (Torres Mattín, 2008).

2.2.3 Requerimientos de nutrientes de la caña de azúcar

La caña de azúcar demanda altos requerimientos nutricionales debido a su elevada capacidad de producción de material vegetal (tallos, follaje, cepa y raíces). El cultivo necesita de 16 elementos esenciales para su desarrollo adecuado:

1) Carbono (C)	7) Magnesio (Mg)	12) Zinc (Zn)
2) Hidrógeno (H)	8) Calcio (Ca)	13) Cobre (Cu)
3) Oxígeno (O)	9) Azufre (S)	14) Boro (B)
4) Nitrógeno (N)	10) Hierro (Fe)	15) Molibdeno
5) Fósforo (P)	11) Manganeso	(Mo)
6) Potasio (K)	(Mn)	16) Cloro (Cl)

Los principales elementos o macronutrientes son el nitrógeno, el fósforo y el potasio, siendo este último el nutriente requerido en mayores cantidades por el cultivo. En menores cantidades se necesita del azufre, el calcio y el magnesio. Además se necesitan pequeñas cantidades de los siguientes nutrientes, denominados elementos traza: hierro, cobre, zinc, boro, manganeso, cloro y molibdeno (Pérez Ovidio, 2014).

El carbono, el hidrógeno y el oxígeno provienen del agua y del aire; son los elementos que constituyen la mayor parte del peso de las plantas. Los otros 13 elementos son minerales y provienen del suelo o son adicionados como fertilizantes (Pérez Ovidio, 2014).

2.2.4 Fertilización química en la región cañera de Guatemala

La fertilización química también es conocida como fertilización inorgánica o convencional, se basa prácticamente en aplicaciones de sustancias químicas o sintéticas para aumentar la capacidad productiva de los suelos y el rendimiento de cosechas. Estos fertilizantes son los más conocidos y usados, especialmente en la agricultura de estos cultivos extensivos. Se caracterizan porque se disuelven con facilidad en el suelo y, por lo tanto, las plantas disponen de los nutrientes al aplicarlos o pocos días después de la aplicación.

2.2.5 Fuentes, dosis, épocas y formas de fertilización

2.2.5.1 Nitrógeno (N)

a) Fuentes:

- I. Urea ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$): 46 % de N en forma de amida (NH_2).
- II. Nitrato de amonio (NH_4NO_3): 33.5 % de N en forma $\text{NH}_4 / \text{NO}_3$
- III. Amoniaco anhídrido (NH_3): 82 % de N
- IV. Sulfato de amonio ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$): 21% de N y 24% de S

b) Dosis:

- I. En caña plantía (estaca); se realizan aplicaciones de 60 kg a 80 kg N/ha, dependiendo de la cantidad de materia orgánica del suelo.
- II. En caña soca; se realizan aplicaciones de 80 kg a 150 kg N/ha, las dosis están en función de los rendimientos de caña esperados en TCH, utilizando la relación por tonelada de caña (N:TCH).

c) Épocas y formas de aplicación:

- I. Para caña plantía se realiza una sola aplicación entre los 45 y 60 días después de la siembra, incorporándolo al suelo en ambos lados del surco.
- II. Para caña soca se realiza una sola aplicación a los 30 días después del corte en banda e incorporándolo en ambos lados del surco.

2.2.5.2 Fósforo (P)

a) Fuentes:

- I. Fosfato mono amónico (MAP): 52 % de P_2O_5
- II. Fosfato di amónico (DAP): 46 % de P_2O_5
- III. Triple Superfosfato (TSP): 46 % de P_2O_5 , trae también de 15 a 18.5 % de Ca
- IV. Roca fosfórica: contenido de P variable, menos soluble, recomendado para suelos ácidos.

b) Dosis:

- I. En caña plantía; se realizan aplicaciones de 40 a 80 kg P/ha, dependiendo de la clasificación del suelo y su nivel de P disponible.
- II. En caña soca; no se aplica, solo cuando los niveles de P son menores a 10 ppm y las dosis recomendadas cuando esto sucede son de 40 a 25 kg P/ha.

c) Épocas y formas de aplicación:

- I. Para caña plantía se realiza una sola aplicación entre los 45 y 60 días después de la siembra, incorporándolo al suelo en ambos lados del surco.
- II. Para caña soca se realiza una sola aplicación a los 30 días después del corte en banda e incorporándolo en ambos lados del surco.

2.2.5.3 Potasio (K)

a) Fuentes:

- I. Muriato de potasio (MOP): 60 % de K_2O

b) Dosis:

- I. Se realizan aplicaciones de 40 a 80 kg K/ha, dependiendo del porcentaje de arcilla en los suelos y su nivel de K intercambiable.

c) Épocas y formas de aplicación:

- I. Para caña plantía se realiza una sola aplicación entre los 45 y 60 días después de la siembra, incorporándolo al suelo en ambos lados del surco.
- II. Para caña soca se realiza una sola aplicación a los 30 días después del corte en banda e incorporándolo en ambos lados del surco.

2.2.6 Ventajas de la fertilización química

- a) *Nutrientes disponibles inmediatamente*; esta es la característica más importante de este tipo de fertilización, ya que al aplicar los nutrientes en forma de minerales solubles las plantas tienen la disponibilidad de absorberlos inmediatamente (O'Hallorans Julia, 2009).
- b) *Se puede calcular la cantidad de nutrientes que se aplica*; esta característica es elemental en el cuidado del suelo y del medio ambiente, pero en muchos casos falla, ya que no se aplican las cantidades correctas debido a los malos cálculos de las dosis, las malas prácticas de aplicación y en el deseo de lograr una mejora de producción se aplican cantidades excesivas (O'Hallorans Julia, 2009).

2.2.7 Desventajas de la fertilización química

- a) *Cambios y alteraciones en el suelo y el ambiente*; la aplicación en exceso o continua de estos fertilizantes acidifica los suelos, favorece la erosión, afecta los organismos (flora y fauna) y altera las propiedades químico-físicas de los componentes del suelo (Villareal Dalia, 2012).
- b) *Nutrientes se pueden lavar con facilidad*; este problema conduce a la degradación del suelo por lixiviación de sustancias que llegan a los cuerpos de aguas subterráneas afectando directamente sus propiedades químicas y físicas (Villareal Dalia, 2012).
- c) *Fácil de aplicar en exceso o deficiencia*; este es sin duda la causa de todos los problemas relacionados con este tipo de fertilización, debido a que las aplicaciones son excesivas en la búsqueda de mejorar los rendimientos y producción (O'Hallorans Julia, 2009).

2.2.8 Consecuencias de la fertilización química

Los excesos de nitrógeno y fosfatos pueden infiltrarse por lixiviación en las aguas subterráneas o ser arrastrados a ríos que recogen efluentes provenientes de las áreas agrícolas, contaminando el recurso hídrico y provocando serios perjuicios para la atmósfera y para el agua que consumimos. Esta sobrecarga de nutrientes provoca la eutrofización de lagos y estanques, dando lugar a una sobrepoblación de algas que consumen oxígeno y suprimen otras plantas y animales acuáticos (González Fernando, 2011).

Los fosfatos son adsorbidos por los componentes del suelo (material orgánica y arcillas) y en condiciones de bajo pH, limita la cantidad de fosfatos disponible para las plantas. Algunas bases de ácidos como los nitratos y los sulfatos provenientes de la preparación de los fertilizantes se convierten en ácido sulfúrico y nítrico que aumentan la acidez y reaccionan con los minerales del suelo afectando la vida de los microorganismos presentes, favoreciendo la erosión y alterando las propiedades del suelo. Los gases que emiten los cultivos con índices de nitrógeno muy elevados favorecen el calentamiento global de la tierra (González Fernando, 2011).

Los problemas más importantes de la fertilización química son a causa de los nitratos, ya que pueden ser reducidos a nitritos en el interior del organismo humano, especialmente en los niños menores de tres meses de edad, produciendo la transformación de la hemoglobina a metahemoglobina que no es capaz de captar y ceder oxígeno de forma funcional en nuestro sistema. Los nitritos, pueden reaccionar con las aminas, sustancias ampliamente presentes en nuestro organismo, originando las nitrosaminas, un tipo de compuestos sobre cuya acción cancerígena no existen dudas (González Fernando, 2011).

2.2.9 Fertilización orgánica en la región cañera de Guatemala

Entre los productos de recuperación de suelos más utilizados en el cultivo de la caña de azúcar están los que se obtienen de los propios desechos del cultivo o del proceso de obtención del azúcar o del alcohol en los Ingenios. CENGICAÑA, en conjunto con los ingenios de la región cañera de Guatemala, han realizado investigaciones sobre fuentes alternativas de fertilizantes, enfocándose principalmente en productos orgánicos.

2.2.10 Fuentes de fertilización orgánica

2.2.10.1 Cachaza

Es un residuo en forma de sedimento que resulta de la clarificación del jugo de caña en la fabricación de azúcar. Tiene altos contenidos de carbono orgánico, fósforo, calcio y en menores cantidades nitrógeno. Es utilizado en la fertilización y mejoramiento de los suelos agrícolas. Las aplicaciones incrementan los niveles de fósforo disponible en el suelo. Los mayores incrementos de TCH observados se han dado con aplicaciones de cachaza en suelos pobres, como los Entisoles superficiales con baja retención de humedad (Pérez Ovidio, 2014).

La cachaza aplicada en la superficie total del suelo incorporada con las labores antes de la siembra reduce el 50 % de la fertilización nitrogenada al usar de 100 a 200 ton/ha y también puede reducir el 100 % al usar dosis altas como 300 ton/ha o más (Pérez Ovidio, 2014).

2.2.10.2 Vinaza

Es un residuo líquido proveniente de la destilación del alcohol y está constituido principalmente por agua, materia orgánica y minerales, entre los cuales el potasio es el más abundante. Existen resultados positivos en el aumento de la productividad en

distintos suelos, economía en el uso de los fertilizantes químicos y mejoramiento de los suelos en general. En promedio con la dosis más alta (120 m³/ha) se obtuvo un incremento anual de 16.6 TCH con relación al testigo sin vinaza (Pérez Ovidio, 2014).

El uso de dosis altas de vinaza mayores a 60 m³/ha resulta atractivo por los incrementos esperados en tonelajes y en la reducción potencial de la dosis de nitrógeno; sin embargo, la vinaza aplicada en niveles altos en forma continuada puede aumentar significativamente los niveles de potasio intercambiable del suelo (Pérez Ovidio, 2014).

2.2.11 Ventajas de la fertilización orgánica

- a) *Provee nutrientes necesarios:* nutren con los elementos necesarios para el metabolismo y desarrollo de las plantas. Esta característica varía con respecto a la o las fuentes de la materia orgánica y las cantidades de elementos presentes varían considerablemente para la nutrición vegetal (O'Hallorans Julia, 2009).

- b) *Liberación lenta de nutrientes:* esta característica permite en tiempo tener una adecuada mineralización de los nutrientes, ayudando directamente al suelo y al medio ambiente.

- c) *Mejora las propiedades físicas, químicas y biológicas:* los suelos mejoran todas sus características relacionadas con la fertilidad. Mejoran su estructura y textura para tener mejor relación suelo-aire-agua, mejoran la capacidad de intercambio catiónico (C.I.C.), mejoran la cantidad de materia orgánica y mejoran el tipo y cantidad de microorganismos.

- d) *Beneficios ecológicos/ambientales:* esta es la característica más importante, ya que se produce en armonía con la naturaleza y el ambiente. Se cumple con el objetivo de una agricultura sostenible nutricional humana y vegetal (O'Hallorans Julia, 2009).

2.2.12 Desventajas de la fertilización orgánica

- a) *Nutrientes no disponibles inmediatamente*: los compuestos y sustancias orgánicas llevan un proceso de degradación, lo cual lleva tiempo dependiendo de la fuente y los microorganismos presentes (O'Hallorans Julia, 2009).
- b) *Concentración de nutrientes no es conocida*: no se sabe con exactitud los elementos y sus concentraciones, esto depende de la fuente de la materia orgánica, pero existen productos como los ácidos húmicos y fúlvicos que si sabe los elementos y sus concentraciones presentes (O'Hallorans Julia, 2009).

2.2.13 Sustancias húmicas

Son una serie sustancias de peso molecular relativamente alto, y de color marrón a negro formadas por reacciones de síntesis secundarias. El término se usa como un nombre genérico para describir el material oscuro o sus fracciones obtenidas sobre la base de características de solubilidad:

- a) Ácidos húmicos
- b) Ácidos fúlvicos
- c) Huminas

Es importante destacar que no existen límites definidos entre los ácidos húmicos, fúlvicos y las huminas. Todos ellos son parte de un sistema supramolecular extremadamente heterogéneo y las diferencias entre estas subdivisiones son debidas a variaciones en la acidez, grado de hidrofobicidad (contenido de restos aromáticos y alquílicos de cadena larga) y la auto asociación de moléculas por efectos del azar (Arquello David, 2014).

2.2.14 Ácidos húmicos y fúlvicos

Son productos procedentes de la descomposición de la materia orgánica y compuestos nitrogenados, tanto cíclicos como alifáticos, sintetizados por ciertos microorganismos

presentes en suelo. Son complejas agrupaciones macromoleculares en las que las unidades fundamentales son compuestos aromáticos de carácter fenólico y generalmente provienen de la Leonardita (Arquello David, 2014).

La Leonardita es una sustancia terrosa, blanda, de color marrón oscuro carbonosa, asociada al lignito. Es una materia orgánica que no ha alcanzado el estado de carbón, en el proceso de transformación, o fosilización de residuos vegetales (vegetal>turba>carbón).La diferencia entre la Leonardita y otros productos que contienen sustancias húmicas, es su extrema bioactividad debida a su estructura molecular. La actividad biológica es unas cinco veces mayor que cualquier otra materia húmica (Arquello David, 2014).

El contenido en carbono de los ácidos húmicos es mayor al de los ácidos fúlvicos. De 50 % a 60 % y de 40 % a 50 % respectivamente. El contenido en nitrógeno generalmente es mayor también en los ácidos húmicos, de 2 % a 6 %, y de 0.8 % a 3 % en los ácidos fúlvicos. El contenido en oxígeno es mayor en los ácidos fúlvicos que los húmicos: de 44 % a 50 % y de 30 % a un 35 % respectivamente. La acidez total es mucho mayor en los ácidos fúlvicos que en los húmicos: de 6,4 a 14,2 meq/g en los ácidos fúlvicos y de 5,6 a 7,7 meq/g en los húmicos (Arquello David, 2014). En la figura 1 se detallan las diferencias principales entre los ácidos húmicos, fúlvico y la humina.

2.2.14.1 Ácidos húmicos

Los ácidos húmicos actúan directamente sobre la nutrición de la planta. Liberan nutrientes fijados en el suelo, estabilizan el pH, aumentan la permeabilidad del suelo y su aireación, poniendo a disposición de las raíces más CO₂ para su correcta respiración. Produce agregados con otras partículas inorgánicas, evitando el encharcamiento del suelo. Aumenta la capacidad de retención de agua (por adherencia) y la capacidad de cambio del suelo. Evita la retrogradación del fósforo y la potasa formando humatos y humofosfatos, mejorando el estado nutricional de la planta (Arquello David, 2014).

2.2.14.2 Ácidos fúlvicos

Fúlvico procede de la palabra “fulvus” que significa amarillo, en referencia al color que suelen mostrar. Los efectos de los ácidos fúlvicos son visibles principalmente en la parte subterránea de las plantas, ya que poseen un extraordinario poder estimulante en la raíz. Por esta razón son utilizados como enraizantes. Poseen la capacidad de formar quelatos con otros elementos nutritivos, aumentando su biodisponibilidad por la planta.

En la figura 2 se detallan las características y diferencias entre las sustancias húmicas. Se observa el incremento en el contenido de carbón, aumento del pH y la disminución del contenido en oxígeno.

Sustancias húmicas (Polímeros pigmentados)				
Ácido fúlvico		Ácido húmico		Humina
Amarillo claro	Amarillo oscuro	Marrón oscuro	Gris oscuro	Negro
	⇒	Incremento de la intensidad del color		⇒
	⇒	Incremento del grado de polimerización		⇒
2.000	⇒	Incremento del peso molecular		⇒ 300.000
45%	⇒	Incremento del contenido en carbón		⇒ 62%
48%	⇒	Disminución del contenido en oxígeno		⇒ 30%
5 meq/g	⇒	Aumento del pH		⇒ 14 meq/g
	⇒	Disminución del grado de solubilidad		⇒
	⇒	Incremento de la capacidad de cambio catiónico *		⇒
	⇒	Incremento de la capacidad de retención de líquidos *		⇒
* En estos dos aspectos, aumentan en los ácidos húmicos, y vuelven a decrecer en la humina				

Fuente: Payeras, A., 2011.

Figura 2. Principales diferencias entre ácidos húmicos, fúlvicos y humina.

2.2.15 Ventajas y características de utilizar ácidos húmicos y fúlvicos

Son inmejorables las ventajas que obtendremos al usar los ácidos húmicos, tanto en las plantas como en el suelo y al mezclar con fertilizantes sintéticos.

- a) *Los mejores quelatizantes naturales:* todos los elementos nutritivos de cargas iónicas (+ -) se pueden quelatizar con estos productos.

- b) *Recuperan suelos desgastados:* al incorporarlos, unimos partículas sueltas del suelo, formándose agregados que son unidades estructurales de mayor cohesión, con lo que se consigue una mejor aireación y retención del agua.

- c) *Desbloquea a los minerales (nutrientes) de su estado insoluble:* el fósforo, hierro, cobre, zinc y manganeso bajo las formas insolubles, al entrar en contacto con estos productos pasan a la forma soluble y son asimilables por las plantas. Mejora la movilidad del calcio en el suelo y dentro de la planta.

- d) *Inhibe la acción fitotóxica de algunos elementos:* por el efecto tampón bufer que tienen estos productos, se inhibe la acción fitotóxica de algunos elementos que pueden presentarse en exceso tal como el cloro y el sodio, que son absorbidos por estos ácidos.

- e) *Aumenta la actividad microbiana en el suelo:* al mejorar las condiciones físicas y químicas del suelo, la flora microbiana se incrementa porque hay una mejor aireación, mejor retención de humedad y un pH adecuado para la actividad microbiana.

- f) *Mejora la sanidad de las plantas:* brindan mayor resistencia a los cultivos contra el ataque de patógenos (hongos, bacterias y hasta nematodos) por la acción de los fenoles. También aumenta la cabellera radicular.

- g) *Protege al medio ambiente de las acciones negativas de los insecticidas:* al combinarse con los plaguicidas los hace más persistentes para un control más

efectivo, pero una vez que se inicia la biodegradabilidad, acelera el reciclaje de los compuestos orgánicos de los plaguicidas (FOSAC, 2007).

2.2.16 Productos húmicos a aplicar en la investigación

Los productos de los tratamientos a aplicar se muestran en el cuadro 1 y se detallan sus composiciones y cantidades en porcentajes de N, P, K, ingredientes inertes, ácidos húmicos y fúlvicos. También se describen sus principales características con base a la información que traen los panfletos de los productos.

Cuadro 1. Características de los productos húmicos y fúlvicos a aplicar.

No.	Nombre	Contenido en % p/p						Características
		N	P (P ₂ O ₅)	K (K ₂ O)	Ingredientes Inertes	Ácidos Húmicos	Ácidos Fúlvicos	
1	Vedagro	9	0.30	4.5	---	45	---	Contiene la actividad de la fermentación natural, suficiente para desarrollar un buen sistema radicular, mejorando la eficiencia de absorción de los nutrientes, aumenta la resistencia y fortalece la tolerancia de los cultivos.
2	Humiplex 50 SG	---	---	---	50	50	---	Fertilizante concentrado de sustancias húmicas derivados de la Leonardita. Favorece la asimilación de nutrimentos del suelo por las raíces. Quelata elementos menores, forma complejos con elementos mayores. Mejora las poblaciones microbianas del suelo.
3	Hydra-hume	---	---	---	30	70	---	Es una mezcla proporcionada de gránulos heterogéneos en tamaños gruesos, medios y finos, 100% solubles en agua. Inhibe o retarda el movimiento descendente de los nutrientes hacia la profundidad del suelo, aumentando sus disponibilidades en la zona de presencia de raíces.
4	Naturcomplet-G	1	---	5	---	30	5	Dota al suelo de una estructura esponjosa, ablandando los suelos apelmazados y ligando a los suelos arenosos. Mejora la efectividad de los abonos minerales. Corrige la mineralización y salinización del suelo.
5	Humita 40	2	---	---	---	30	10	Es un producto mezcla de un 75% de Leonardita de alta calidad, calcio (Ca), hierro (Fe), sílice (Si), azufre (S) y otros, microelementos naturales y quelatados por la acción de los ácidos húmicos, con el 25 % de materia orgánica.

Fuente. Elaboración propia, 2015.

2.3 OBJETIVOS

2.3.1 Objetivo general

Evaluar la respuesta de las diferentes fuentes de ácidos húmicos y fúlvicos granulados en producción y rendimiento en el cultivo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.), en combinación con una fertilización completa y una reducida.

2.3.2 Objetivos específicos

- a) Medir y comparar la respuesta del desarrollo de la caña de azúcar en variables biométricas (longitud de tallos, diámetro de tallos, longitud de entrenudos), que provocan los diferentes tratamientos.
- b) Analizar y comparar la producción en toneladas de caña por hectárea (TCH) de los diferentes tratamientos.
- c) Analizar y comparar el rendimiento en toneladas de azúcar por hectárea (TAH) de los diferentes tratamientos.

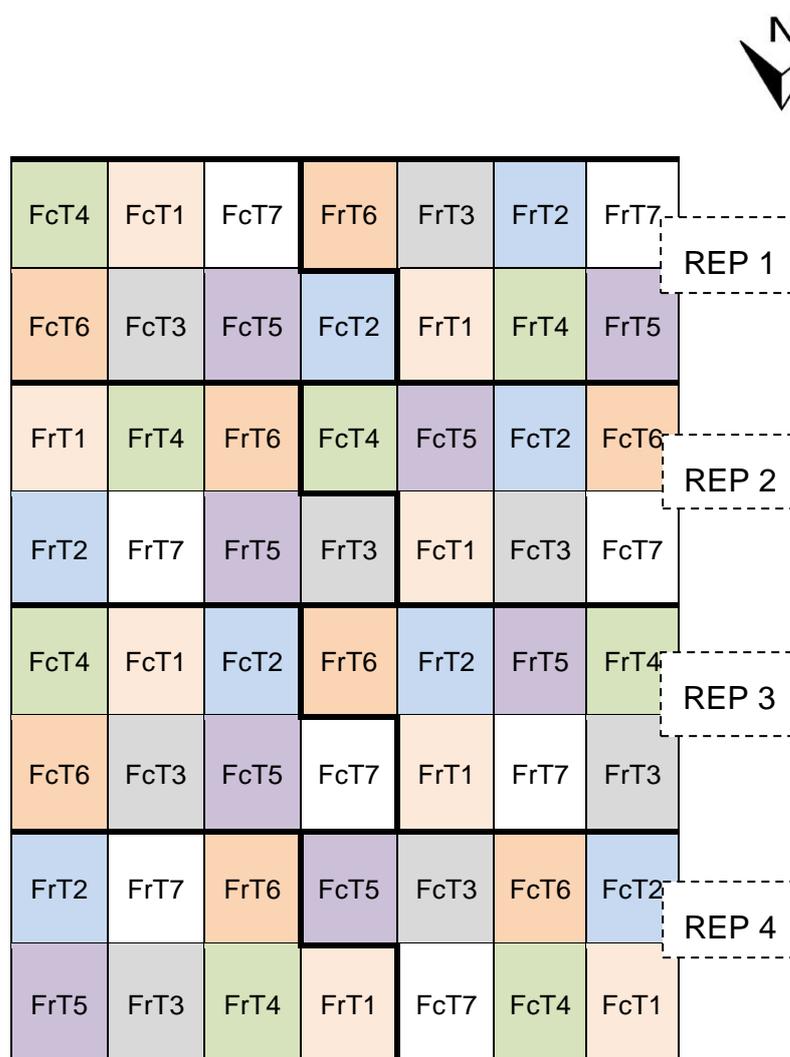
2.4 HIPÓTESIS

Al menos uno de los tratamientos aplicados de ácidos húmicos y fúlvicos en combinación con una fertilización completa y una reducida produce diferencias significativas en el rendimiento y producción de la caña de azúcar variedad CP 72-2086.

2.5 METODOLOGÍA

2.5.1 Unidad experimental

Se contaron con 56 unidades experimentales, el croquis y los tratamientos se muestran en la figura 3. Las unidades experimentales constaron de parcelas con 4 surcos a una separación de 1.8 m por 10 m de largo, para un total de 72 m² por unidad experimental.



Fuente: elaboración propia, 2015

Figura 3. Croquis del ensayo de investigación

2.5.2 Descripción de los tratamientos

Se evaluaron 7 tratamientos; 1 testigo y 6 productos. Las dosis por hectárea y por surco se detallan en el cuadro 2. Además la forma de aplicación de los productos en todos los casos; solo se hará una sola aplicación al fondo del surco, incorporando el producto granulado al suelo.

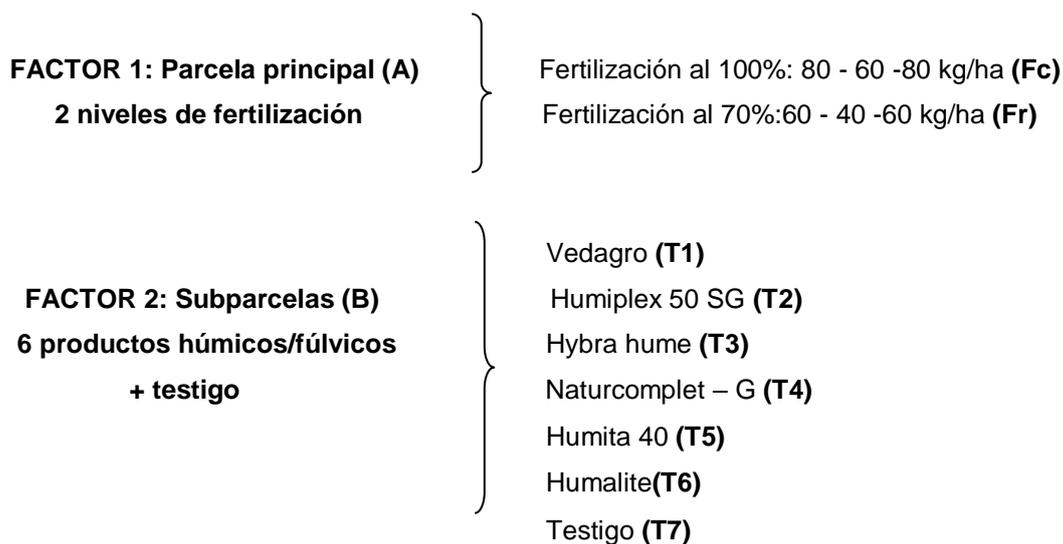
Cuadro 2. Descripción de los tratamientos.

No.	Productos	Dosis ha (kg)	Dosis por surco (kg)	Forma de aplicación
T1	Vedagro	50	0.09	Al fondo del surco una sola aplicación
T2	Humiplex 50 SG	50	0.09	Al fondo del surco una sola aplicación
T3	Hybra hume	40	0.072	Al fondo del surco una sola aplicación
T4	Naturcomplet-G	50	0.09	Al fondo del surco una sola aplicación
T5	Humita 40	50	0.09	Al fondo del surco una sola aplicación
T6	Humalite	50	0.09	Al fondo del surco una sola aplicación
T7	Testigo	0	0	No se aplica nada

Fuente: elaboración propia, 2015.

2.5.3 Diseño experimental

Es un modelo lineal para un diseño de parcelas divididas con estructura en parcelas en bloques al azar. Este modelo es bifactorial y los dos factores a evaluados se detallan de la siguiente manera:



2.5.4 Variables de respuesta

Solo se midieron variables cuantitativas que fueron las siguientes:

2.5.4.1 Biometría

Estas variables se midieron a los 6 meses de edad del cultivo; a los 6 meses de la aplicación de los productos. Este procedimiento es el establecido por el Ingenio y los pasos fueron los siguientes:

- a) De cada parcela se escogieron 2 surcos al azar y de cada surco se escogieron 5 plantas al azar, a cada planta se le midieron las siguientes variables.
- b) Con una cinta métrica se midió la altura del tallo de la caña de azúcar, desde la base del suelo hasta el cogollo, para conocer la **longitud del tallo**.
- c) Se contó la cantidad de entrenudos y con una cinta métrica se mide lo largo entre cada entrenudo, para conocer las **longitudes de cada entrenudo**.

- d) Con un Vernier se midió el grosor de los entrenudos 3, 7 y 10 del tallo de la caña de azúcar, para conocer el **diámetro del tallo**.

2.5.4.2 Tonelaje de caña por hectárea (TCH)

Esta variable se midió el día de la cosecha; a los 12 meses de la aplicación de los productos. Este procedimiento se realizó con maquinaria agrícola y una balanza de peso, se utilizó un Cameco (maquinaria agrícola) que en su brazo de carga lleva colocado una balanza de peso digital marca Lightever. Los pasos fueron los siguientes:

- a) 20 minutos después de la zafra se cortó con machete la caña por parcelas, formando chorrillas (acumulación de tallos) de caña por parcela.
- b) Se amarraron las chorrillas por parcelas con cadenas de acero inoxidable.
- c) Con el Cameco se levantó y se cargaron las chorrillas por parcela. La balanza indicaba el peso en libras de las chorrillas por parcela y se tomó el dato.
- d) Por último se realizó la conversión de los datos para pasar de lb/m^2 a **toneladas por hectárea**.

2.5.4.3 Tonelaje de azúcar por hectárea (TAH)

Se realizó un muestreo en el momento del corte y cosecha. Los pasos realizados fueron los siguientes:

- a) Se cortan diez un pedazos del tallo de caña de aproximadamente 50 cm de longitud por cada unidad experimental.
- b) Cada muestra es llevado al laboratorio del ingenio debidamente identificado con los siguientes datos: **finca, pante, código, número de muestra, fecha y muestreador**.
- c) Cada muestra fue pasada por un molino para moler los tallos de caña y producir una torta de cada muestra.

- d) De la torta se pesan 500 g y se colocan en un compresor para extraer el jugo de caña el cual es depositado en un blanco plástico desechable. De este proceso se obtiene el **% de jugo** y el **peso de torta húmeda**.
- e) En el laboratorio propiamente, de cada vaso que se obtuvo por muestra de campo se le agrego 0.1 g de subacetato de plomo, se mezcló debidamente y se pasó por conos de papel filtro. El jugo filtrado se recolecto en vasos limpios (a este proceso se le llama clarificación del jugo), del jugo ya clarificado se llevó las muestras al polarímetro que automáticamente nos brindó los datos de lectura de **pol jugo**.
- f) Del jugo colado se llevaron las muestras al refractómetro donde se obtuvo los grados brix; **brix jugo**.

2.5.5 Metodología general

- I. Selección del área de la investigación, área homogénea para no tener otra variable más que pueda afectar los resultados de la evaluación.
- II. Trazado y estaqueado de las parcelas experimentales.
- III. Aleatorización de los tratamientos.
- IV. Medición y aplicación de los tratamientos.
- V. Toma de datos de biometría.
- VI. Muestreo que será llevado al laboratorio (TAH).
- VII. Cosecha y peso de cada tratamiento (TCH).

2.6 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

2.6.1 Biometría

Los resultados obtenidos fueron puramente indicadores de crecimiento y desarrollo, como altura, grosor y número de entrenudos, los cuales se presentan a continuación.

2.6.1.1 Altura o longitud del tallo

En los cuadros 3 y 4, y en las figuras 4 y 5, se detallan las alturas promedio que provocan los tratamientos y las dos diferentes dosis de fertilización en los tallos de la caña de azúcar.

Cuadro 3. Altura promedio de cada tratamiento con fertilización completa.

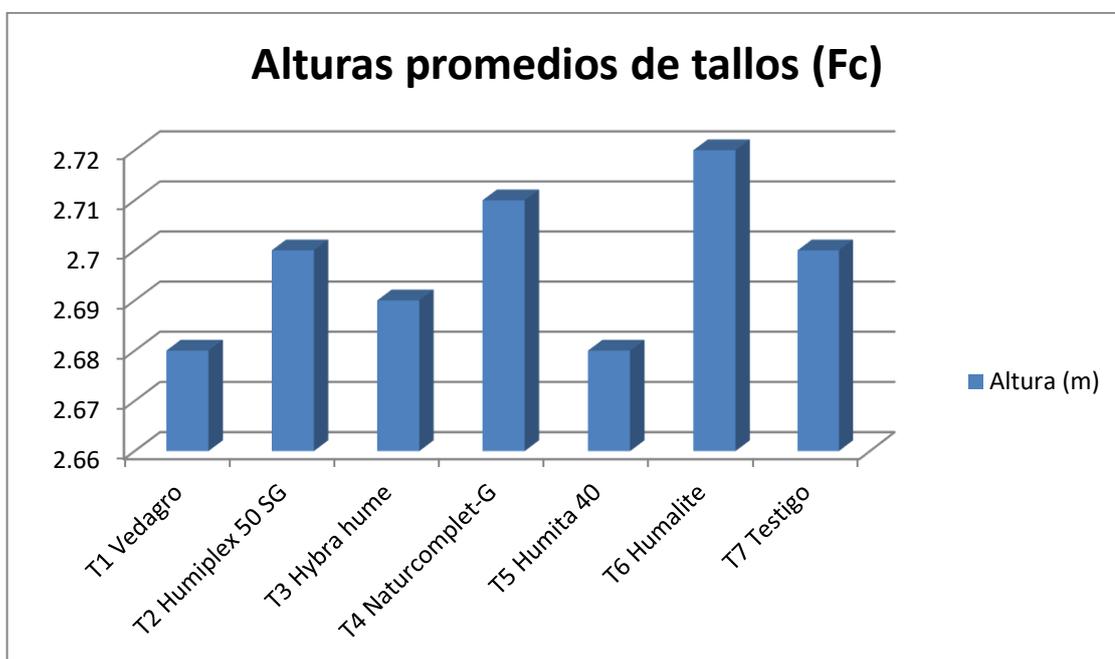
No.	Producto	Altura (m)
T1	Vedagro	2.68
T2	Humiplex 50 SG	2.70
T3	Hybra hume	2.69
T4	Naturcomplet-G	2.71
T5	Humita 40	2.68
T6	Humalite	2.72
T7	Testigo	2.70

Fuente: elaboración propia, 2015.

Cuadro 4. Altura promedio de cada tratamiento con fertilización reducida.

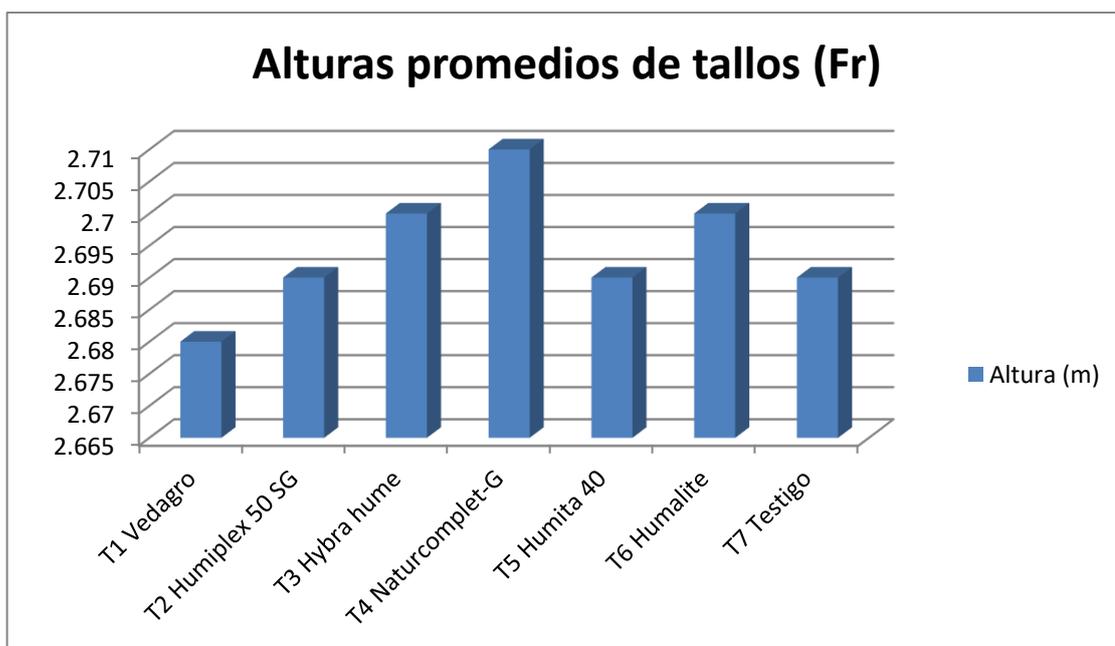
No.	Producto	Altura (m)
T1	Vedagro	2.68
T2	Humiplex 50 SG	2.69
T3	Hybra hume	2.70
T4	Naturcomplet-G	2.71
T5	Humita 40	2.69
T6	Humalite	2.70
T7	Testigo	2.69

Fuente: elaboración propia, 2015.



Fuente: elaboración propia, 2015

Figura 4. Alturas o longitudes promedios de los tallos por tratamientos con fertilización completa.



Fuente: elaboración propia, 2015

Figura 5. Alturas o longitudes promedio de los tallos por tratamientos con fertilización reducida.

De acuerdo a los resultados obtenidos en los tallos con una fertilización completa la diferencia de altura promedio entre el mayor y el menor es de 4 cm (0.04 m). Siendo una diferencia no significativa, ya que muestran poca diferencia de altura entre los tratamientos.

El tratamiento 6 (Humalite) muestra la mayor altura o longitud promedio del tallo con 2.72 m, seguido por el tratamiento 4 (Naturcomplet-G) con una longitud promedio de 2.71 m, seguido por los tratamientos 2 y 7 (Humiplex 50 SG y el testigo) que mostraron el mismo promedio de altura de 2.70 m, seguido por el tratamiento 3 (Hybra hume) con una longitud promedio de 2.69 m, seguido y por ultimo con los datos más bajos los tratamientos 1 y 5 (Vedagro y Humita 40) que mostraron el mismo promedio de altura de 2.68 m.

De acuerdo a los resultados obtenidos en los tallos con una fertilización reducida la diferencia de altura promedio entre el mayor y el menor es de 3 cm (0.03 m). Siendo

una diferencia no significativa, ya que muestran poca diferencia de altura entre los tratamientos.

El tratamiento 4 (Naturcomplet-G) muestra la mayor altura o longitud promedio del tallo con 2.71 m, seguido por los tratamientos 3 y 6 (Hybra hume y Humalite) con una longitud promedio de 2.70 m, seguido por los tratamientos 2, 5 y 7 (Humiplex 50 SG, Humita 40 y el testigo) que mostraron el mismo promedio de altura de 2.69 m, seguido y por ultimo con los datos más bajos el tratamiento 1 (Vedagro) que mostro un promedio de altura de 2.68 m.

2.6.1.2 Grosor o diámetro del tallo

En los cuadros 5 y 6, y en las figuras 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12 y 13, se detallan los diámetros promedios de los entrenudos 3, 7 y 10 respectivamente, y el diámetro promedio del tallo de la caña de azúcar que provoca cada tratamiento y las dos diferentes dosis de fertilización.

Cuadro 5. Diámetro promedio por entrenudo medido y el diámetro promedio del tallo por cada tratamiento con fertilización completa.

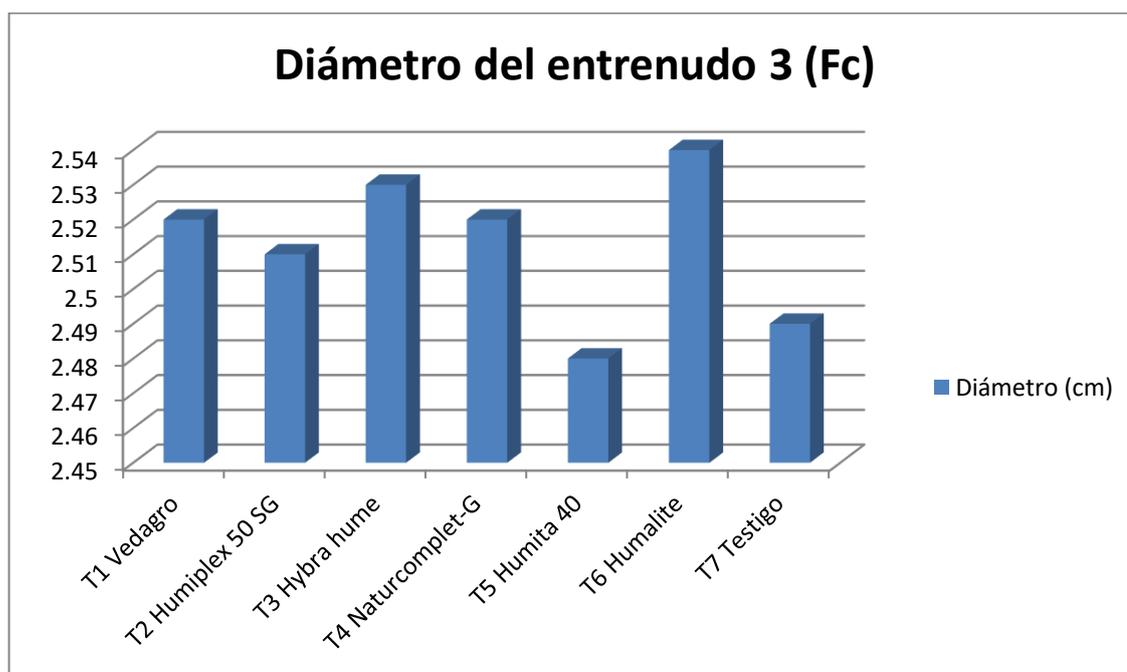
No.	Producto	Diámetro Entrenudo 3 (cm)	Diámetro Entrenudo 7 (cm)	Diámetro Entrenudo 10 (cm)	Diámetro promedio del tallo (cm)
T1	Vedagro	2.52	2.53	2.50	2.51
T2	Humiplex 50 SG	2.51	2.52	2.48	2.50
T3	Hybra hume	2.53	2.49	2.49	2.50
T4	Naturcomplet-G	2.52	2.51	2.52	2.52
T5	Humita 40	2.48	2.52	2.53	2.51
T6	Humalite	2.54	2.51	2.52	2.52
T7	Testigo	2.49	2.48	2.50	2.49

Fuente: elaboración propia, 2015.

Cuadro 6. Diámetro promedio por entrenudo medido y el diámetro promedio del tallo por cada tratamiento con fertilización reducida.

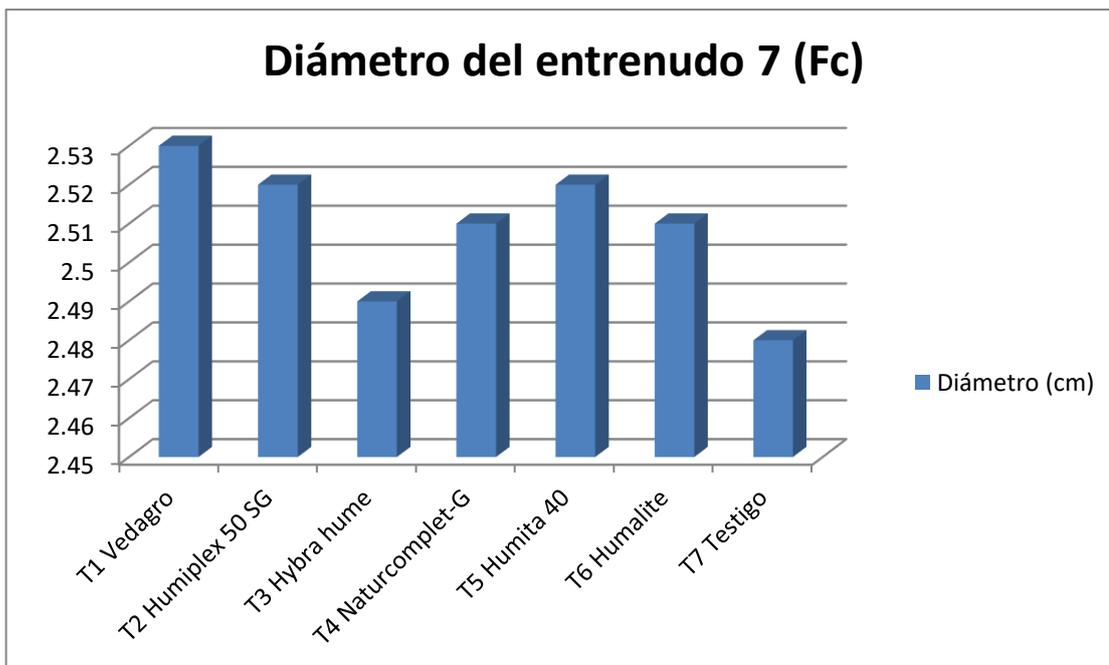
No.	Producto	Diámetro Entrenudo 3 (cm)	Diámetro Entrenudo 7 (cm)	Diámetro Entrenudo 10 (cm)	Diámetro promedio del tallo (cm)
T1	Vedagro	2.50	2.53	2.51	2.51
T2	Humiplex 50 SG	2.51	2.52	2.52	2.51
T3	Hybra hume	2.50	2.49	2.49	2.49
T4	Naturcomplet-G	2.52	2.51	2.52	2.52
T5	Humita 40	2.49	2.52	2.50	2.50
T6	Humalite	2.53	2.48	2.51	2.50
T7	Testigo	2.50	2.49	2.49	2.49

Fuente: elaboración propia, 2015.



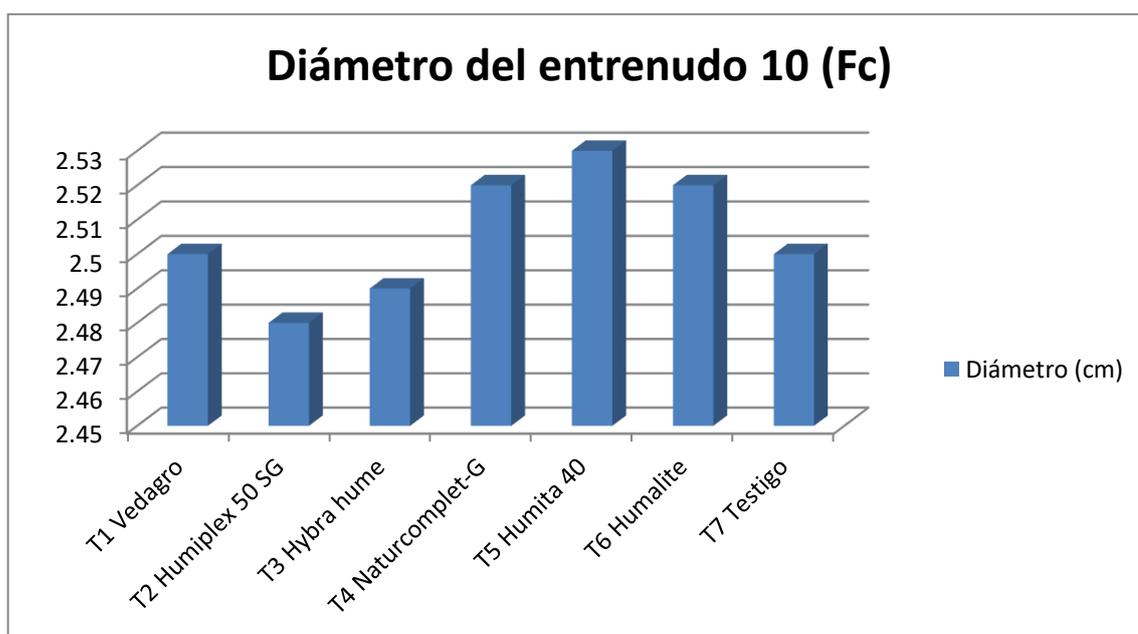
Fuente: elaboración propia, 2015

Figura 6. Grosor promedio del entrenudo 3 por tratamientos con fertilización completa.



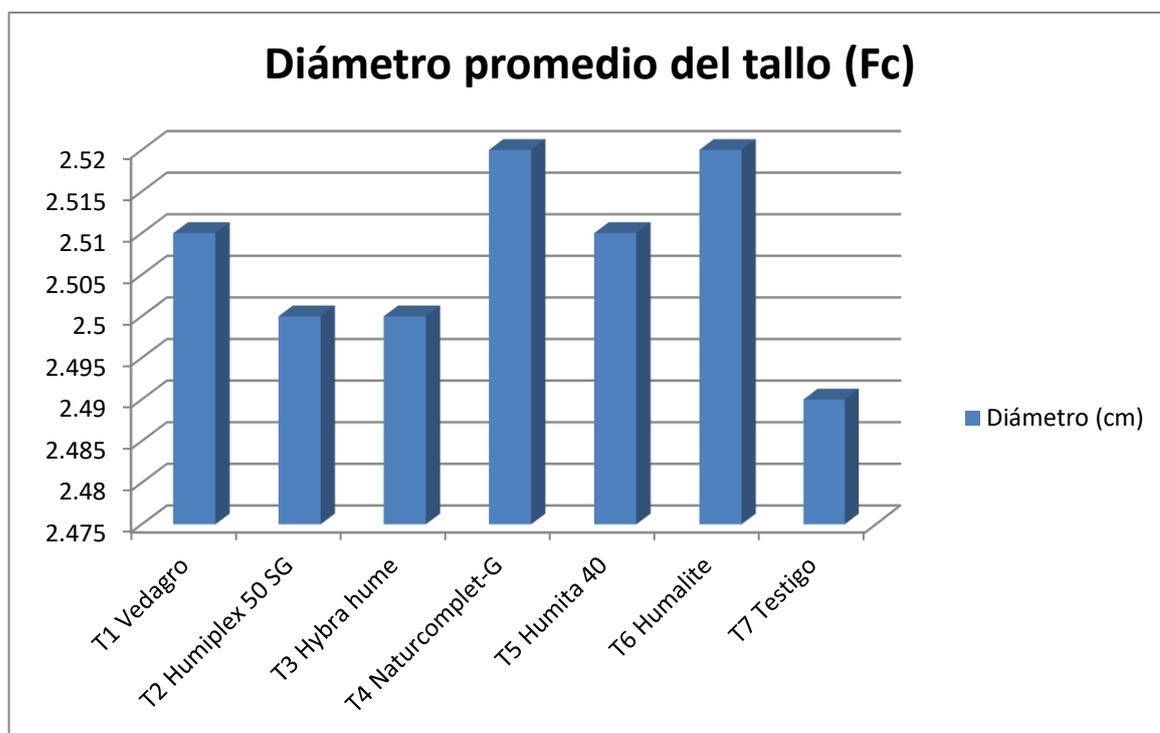
Fuente: elaboración propia, 2015

Figura 7. Grosor promedio del entrenudo 7 por tratamientos con fertilización completa.



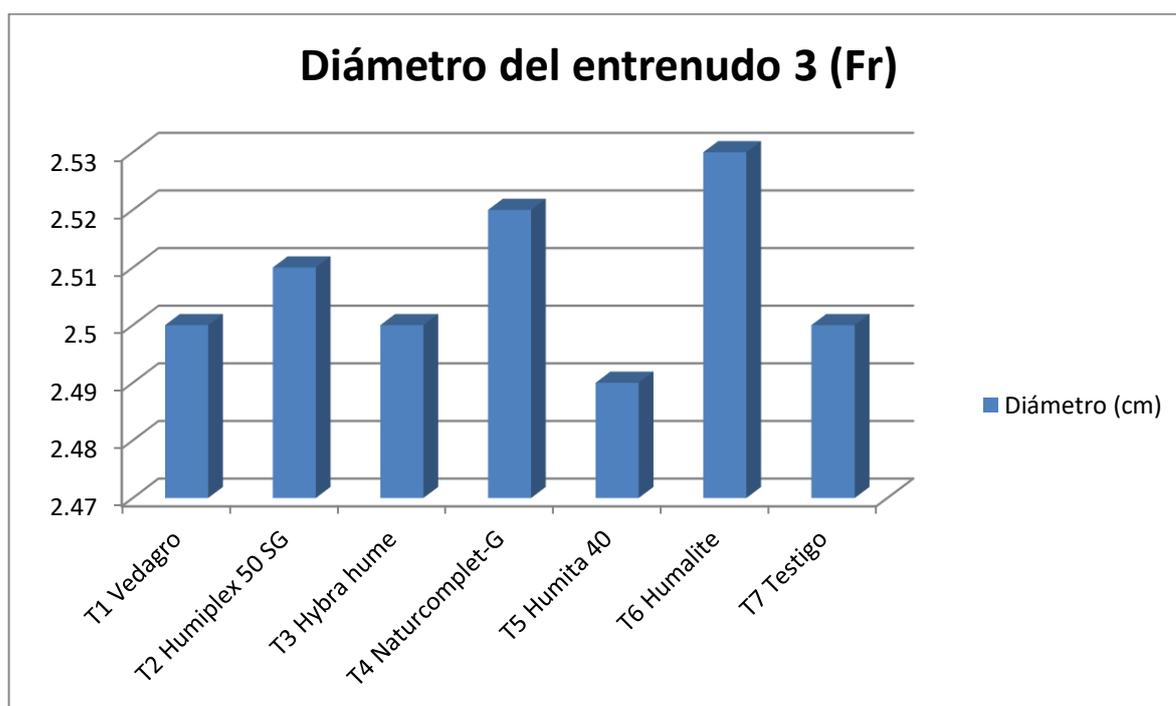
Fuente: elaboración propia, 2015

Figura 8. Grosor promedio del entrenudo 10 por tratamientos con fertilización completa.



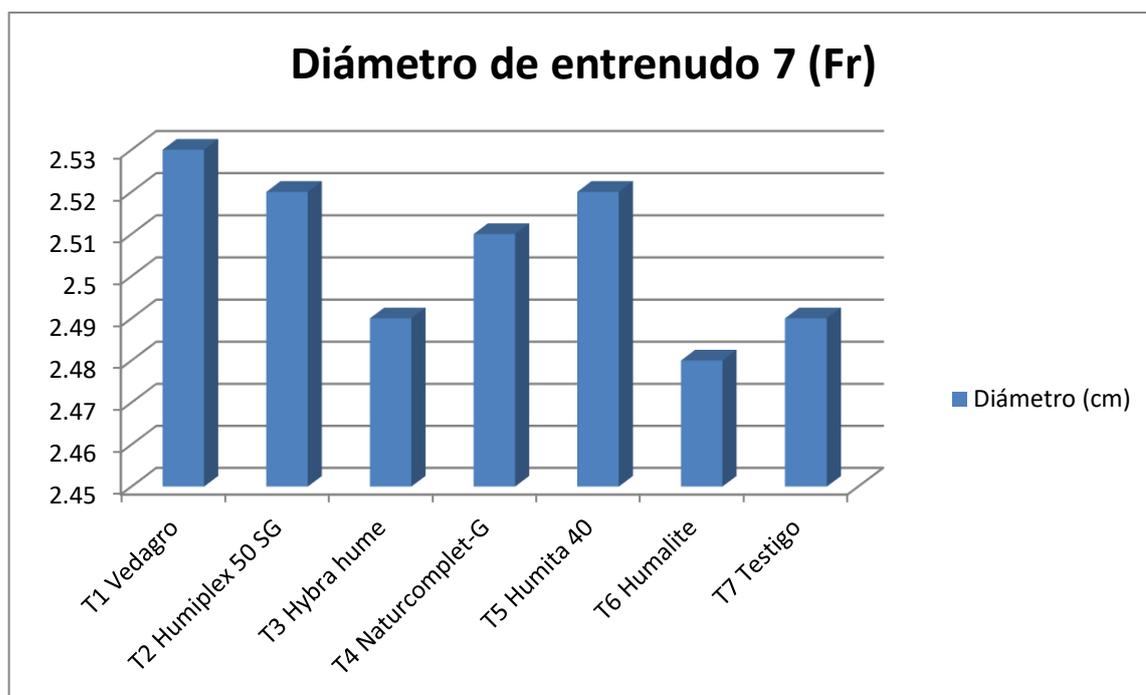
Fuente: elaboración propia, 2015

Figura 9. Grosor promedio del tallo por tratamientos con una fertilización completa.



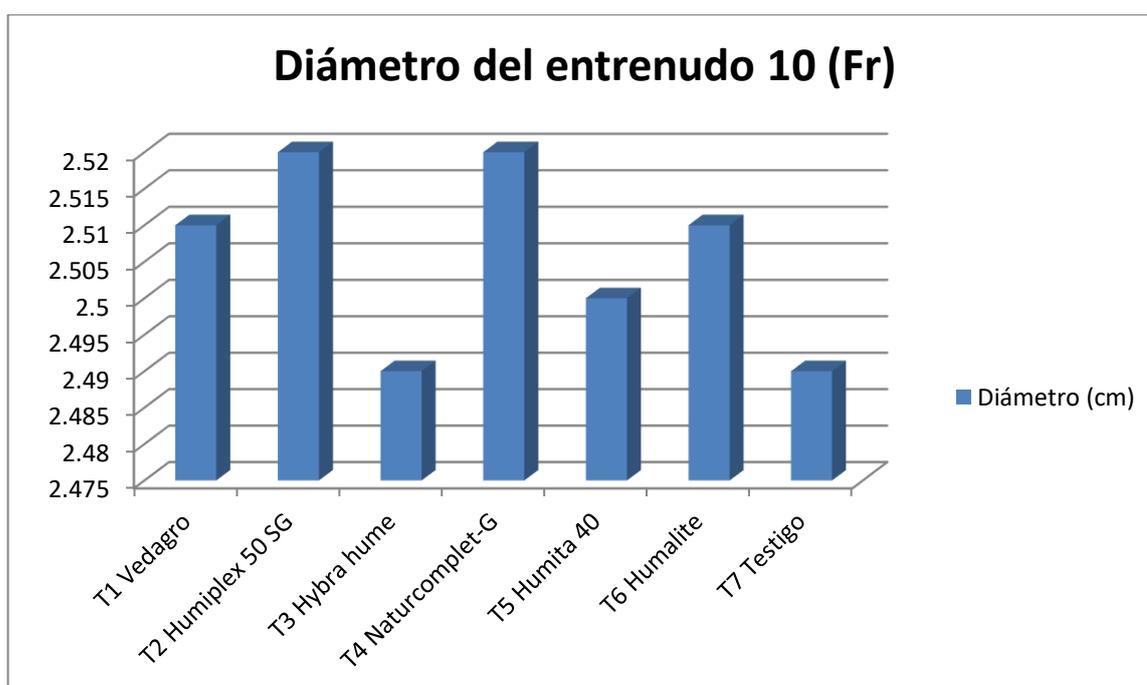
Fuente: elaboración propia, 2015

Figura 10. Grosor promedio del entrenudo 3 por tratamientos con fertilización reducida.



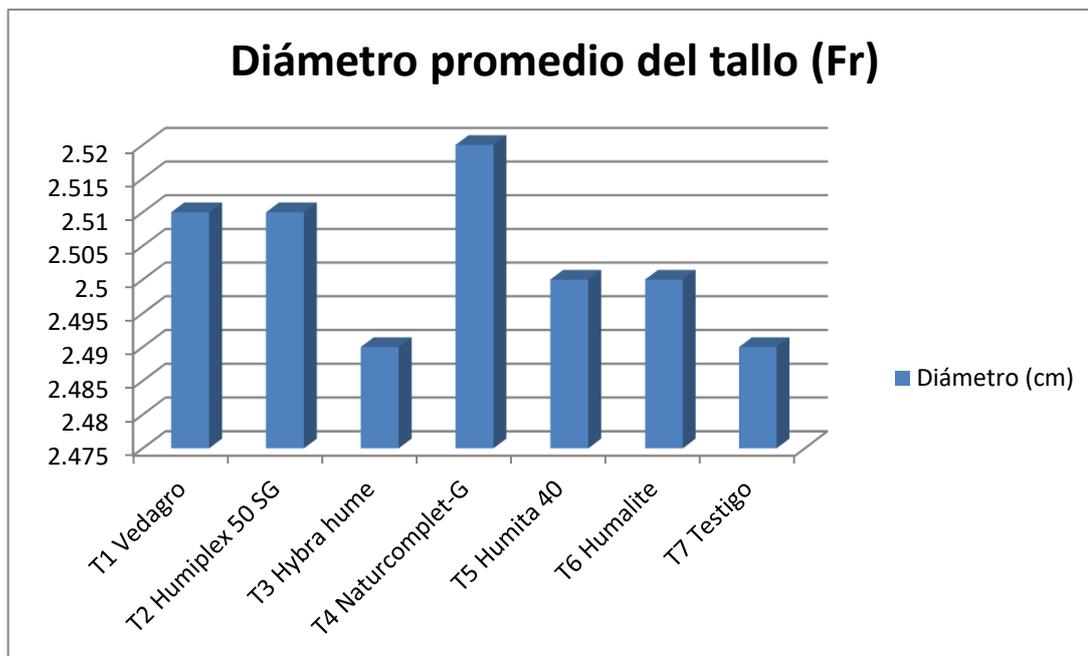
Fuente: elaboración propia, 2015

Figura 11. Grosor promedio del entrenudo 7 por tratamientos con fertilización reducida.



Fuente: elaboración propia, 2015

Figura 12. Grosor promedio del entrenudo 10 por tratamientos con fertilización reducida.



Fuente: elaboración propia, 2015

Figura 13. Grosor promedio del tallo por tratamientos con una fertilización reducida.

De acuerdo a los resultados obtenidos en los tallos con una fertilización completa la diferencia de grosor promedio entre el mayor y el menor es de 3 cm (0.03 m). Siendo una diferencia no significativa, ya que muestran poca diferencia de diámetro entre los tratamientos.

Los tratamientos 6 y 4 (Humalite y Naturcomplet-G) muestran el mayor grosor o diámetro promedio del tallo con 2.52 cm cada uno, seguidos por los tratamientos 1 y 5 (Vedagro y Humita 40) con un diámetro promedio de 2.51 cm cada uno, seguidos por los tratamientos 2 y 3 (Humiplex 50 SG y Hybra hume) con un diámetro promedio de 2.50 cm cada uno, y por ultimo con el dato más bajos el tratamiento 7 (el testigo) con un diámetro de 2.49 cm.

En los tallos con una fertilización completa, la diferencia de grosor promedio entre el mayor y el menor es de 2 cm (0.02 m). Siendo una diferencia no significativa, ya que muestran poca diferencia de diámetro entre los tratamientos.

El tratamiento 4 (Naturcomplet-G) muestra el mayor grosor o diámetro promedio del tallo con 2.52 cm cada uno, seguidos por los tratamientos 1 y 2 (Vedagro y Humiplex 50 SG) con un diámetro promedio de 2.51 cm cada uno, seguidos por los tratamientos 5 y 6 (Humita 40 y Humalite) con un diámetro promedio de 2.50 cm cada uno, y por último con los datos más bajos los tratamientos 3 y 7 (Hybra hume y el testigo) con un diámetro de 2.49 cm.

2.6.1.3 Longitudes de cada entrenudo

En los cuadros 7 y 8, se detallan las longitudes promedio de los entrenudos que provocan cada tratamiento y las dos diferentes dosis de fertilización. Las longitudes promedio de los entrenudos nos muestran nuevamente la altura promedio de los tallos y nos revelan que entrenudos y en que tratamientos se alcanzaron los más altos datos de longitud.

Cuadro 7. Longitud promedio en centímetros por entrenudo medido de cada tratamiento con una fertilización completa.

No.	Entre1	Entre2	Entre3	Entre4	Entre5	Entre6	Entre7	Entre8	Entre9	Entre10	Entre11	Entre12	Entre13	Entre14
T1	17	18	18,9	18,6	19	19,8	20,1	20	20,1	19,2	19,7	19,9	18,6	17,5
T2	17,5	17,5	19,1	18,9	19,5	20,1	20,1	20,1	20	19,8	19,5	18,9	18,9	18,1
T3	17	17,9	18,5	19	19,5	20	20	19,8	20,1	20	19,8	19,5	19,2	18
T4	17,2	18,5	19	19,5	19,9	20	20,2	20,2	20	20,1	19,8	19,2	18,8	18,5
T5	17,5	17,9	18	18,8	19	19,7	21	20	19,8	20	19,5	19,8	18,9	18
T6	17,8	18,9	19,7	20,1	20,2	20,2	21,2	20,1	20,2	20,2	20	19,8	18,5	18,5
T7	17	17,9	19,5	19,5	19,8	19,9	20	20,1	20	19,5	19,8	18,5	18,8	18,8

Fuente: elaboración propia, 2015.

Cuadro 8. Longitud promedio en centímetros por entrenudo medido de cada tratamiento con una fertilización reducida.

No.	Entre1	Entre2	Entre3	Entre4	Entre5	Entre6	Entre7	Entre8	Entre9	Entre10	Entre11	Entre12	Entre13	Entre14
T1	16,8	18,5	18,5	18,8	18	19	20	20,1	20,1	19,8	19,5	19,5	19,2	17,8
T2	17,5	17,9	19	19,5	19,5	20	20,1	19,5	20	20	19,8	18,5	19,5	17,9
T3	17	18,5	18,2	19,5	20	20,1	20,1	20	20,2	19,8	19,5	19,8	19,6	18,5
T4	17,5	18,9	18,5	19,5	19,9	19,9	20,2	20,2	20,1	20,1	20,1	19,8	18,8	18
T5	17,8	17,5	18,1	18	19,5	19	20	20,1	19,5	19,9	19,8	19,5	18,9	17,5
T6	17,2	18,9	19	19,5	19,9	20,2	20,1	20	20,2	20,2	20	19,8	19,5	18,2
T7	17	18	19,3	19,5	20	19,9	20,2	20,1	20	20,1	19,5	19,2	18,5	17,8

Fuente: elaboración propia, 2015.

De acuerdo a los resultados obtenidos en los tallos con una fertilización completa de las longitudes promedio de los entrenudos, el dato más alto registrado es de 20.2 cm y se manifiesta entre el entrenudo 5 y 10 en los tratamientos 4 y 6 (Naturcomplet-G y Humalite). El dato más bajo registrado es de 17 cm y se manifiesta en el entrenudo 1 de los tratamientos 1, 3 y 7 (Vedagro, Hybra hume y el testigo).

En cuanto a los resultados obtenidos en los tallos con una fertilización reducida de las longitudes promedio de los entrenudos, el dato más alto registrado es de 20.2 cm y se manifiesta entre los entrenudos 7 y 10 en los tratamientos 4, 3 y 6 (Naturcomplet-G, Hybra hume y Humalite). El dato más bajo registrado es de 16.8 cm y se manifiesta en el entrenudo 1 del tratamiento 1 (Vedagro).

2.6.2 Tonelaje de caña por hectárea (TCH)

Los resultados obtenidos fueron puramente indicadores de crecimiento y desarrollo. Se tabularon los datos obtenidos en el programa Infostat® para realizar el análisis estadístico de varianza al modelo lineal del diseño de parcelas divididas con estructura en parcelas en bloques al azar.

En la figura 14 y cuadros 9 y 10, se detallan los pesos en libras y toneladas de caña por hectárea (TCH) obtenidos por cada parcela y sus diferentes tratamientos.

FcT4 1632	FcT1 1570	FcT7 1704	FrT6 1240	FrT3 1586	FrT2 1762	FrT7 1682	REP 1
FcT6 1566	FcT3 1698	FcT5 1582	FcT2 1676	FrT1 1434	FrT4 1782	FrT5 1771	
FrT1 1984	FrT4 1936	FrT6 2120	FcT4 1902	FcT5 1826	FcT2 2022	FcT6 2046	REP 2
FrT2 2032	FrT7 2320	FrT5 1816	FrT3 2148	FcT1 2064	FcT3 1966	FcT7 1876	
FcT4 2114	FcT1 2068	FcT2 1872	FrT6 2094	FrT2 1932	FrT5 2004	FrT4 2174	REP 3
FcT6 2404	FcT3 2018	FcT5 2152	FcT7 2106	FrT1 1934	FrT7 2106	FrT3 2254	
FrT2 1994	FrT7 1658	FrT6 1890	FcT5 1938	FcT3 1942	FcT6 1982	FcT2 1844	REP 4
FrT5 2086	FrT3 2053	FrT4 1984	FrT1 1932	FcT7 2178	FcT4 2186	FcT1 1906	

Fuente: elaboración propia, 2015

Figura 14. Datos de los pesos en libras obtenidos por parcela (unidad experimental).

Cuadro 9. Producción en libras y toneladas de caña por hectárea con una fertilización completa por cada unidad experimental.

BLOQUE	TRATAMIENTO	PRODUCCIÓN (lb)	PRODUCCIÓN (T/ha)
1	T1 Vedagro	1570	99,11616162
	T2 Humiplex 50 SG	1676	105,8080808
	T3 Hybra hume	1698	107,1969697
	T4 Naturcomplet-G	1632	103,030303
	T5 Humita 40	1582	99,87373737
	T6 Humalite	1566	98,86363636
	T7 Testigo	1704	107,5757576
2	T1 Vedagro	2064	130,3030303
	T2 Humiplex 50 SG	2022	127,6515152
	T3 Hybra hume	1966	124,1161616
	T4 Naturcomplet-G	1902	120,0757576
	T5 Humita 40	1826	115,2777778
	T6 Humalite	2046	129,1666667
	T7 Testigo	1876	118,4343434
3	T1 Vedagro	2068	130,5555556
	T2 Humiplex 50 SG	1872	118,1818182
	T3 Hybra hume	2018	127,3989899
	T4 Naturcomplet-G	2114	133,459596
	T5 Humita 40	2152	135,8585859
	T6 Humalite	2404	151,7676768
	T7 Testigo	2106	132,9545455
4	T1 Vedagro	1906	120,3282828
	T2 Humiplex 50 SG	1844	116,4141414
	T3 Hybra hume	1942	122,6010101
	T4 Naturcomplet-G	2186	138,0050505
	T5 Humita 40	1982	125,1262626
	T6 Humalite	1938	122,3484848
	T7 Testigo	2178	137,5

Fuente: elaboración propia, 2015

Cuadro 10. Producción en libras y toneladas de caña por hectárea con una fertilización reducida por cada unidad experimental.

BLOQUE	TRATAMIENTO	PRODUCCIÓN (lb)	PRODUCCIÓN (T/ha)
1	T1 Vedagro	1434	90,53030303
	T2 Humiplex 50 SG	1762	111,2373737
	T3 Hybra hume	1586	100,1262626
	T4 Naturcomplet-G	1582	99,87373737
	T5 Humita 40	1761	111,1742424
	T6 Humalite	1240	78,28282828
	T7 Testigo	1682	106,1868687
2	T1 Vedagro	1984	125,2525253
	T2 Humiplex 50 SG	2032	128,2828283
	T3 Hybra hume	2148	135,6060606
	T4 Naturcomplet-G	1936	122,2222222
	T5 Humita 40	1816	114,6464646
	T6 Humalite	2120	133,8383838
	T7 Testigo	2020	127,5252525
3	T1 Vedagro	1934	122,0959596
	T2 Humiplex 50 SG	1932	121,969697
	T3 Hybra hume	2254	142,2979798
	T4 Naturcomplet-G	2174	137,2474747
	T5 Humita 40	2004	126,5151515
	T6 Humalite	2094	132,1969697
	T7 Testigo	2106	132,9545455
4	T1 Vedagro	1932	121,969697
	T2 Humiplex 50 SG	1994	125,8838384
	T3 Hybra hume	2053	129,6085859
	T4 Naturcomplet-G	1984	125,2525253
	T5 Humita 40	2086	131,6919192
	T6 Humalite	1890	119,3181818
	T7 Testigo	1658	104,6717172

Fuente: elaboración propia, 2015

La tabulación de estos datos sirvió para realizar el análisis de varianza en Infostat® con un nivel de significancia del 0.05 %. La prueba indica que no existen diferencias significativas entre los tratamientos. Los resultados del análisis de varianza se muestran en los cuadros 11 y 12.

Cuadro 11. Cuadro del análisis de varianza realizado en Infostat® para las TCH.

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
<u>F.V.</u>	<u>SC</u>	<u>gl</u>	<u>CM</u>	<u>F</u>	<u>p-valor</u>
Modelo.	8202.29	19	431.70	5.78	<0.0001
Fer	29.33	1	29.33	0.84	0.4263 (Fer*Bloque)
Fer*Bloque	104.41	3	34.80	0.47	0.7077
Prod h	189.30	6	31.55	0.42	0.8591
Bloque	7438.48	3	2479.49	33.21	<0.0001
Fer*Prod h	440.76	6	73.46	0.98	0.4505
Error	2688.07	36	74.67		
Total	10890.36	55			

Fuente: Infostat®, 2015

Cuadro 12. Cuadro del test Tukey realizado en Infostat® para las TCH.

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=5.01783					
<i>Error: 34.8047 gl: 3</i>					
<u>Fer Medias n E.E.</u>					
FC	121.39	28	1.11	A	
FR	119.94	28	1.11	A	
<i>Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)</i>					

Fuente: Infostat®, 2015

El análisis de varianza en Infostat® indica que no existen diferencias significativas entre los diferentes tratamientos; los productos, y las diferentes dosis de fertilización. De esta manera se recalca otra vez las pequeñas diferencias de datos que también se manifiestan en la biometría medida.

El análisis indica que no hay diferencias significativas entre los productos húmicos y fúlvicos, ni el testigo, manifestando que no hay diferencias significativas entre las subparcelas. Además indica que tampoco hay diferencias significativas entre las dos diferentes dosis de fertilización (Fc y Fr), o sea que no hay diferencias significativas entre las parcelas principales.

2.6.3 Toneladas de azúcar por hectárea (TAH)

Los resultados obtenidos fueron puramente indicadores de rendimiento. Se tabularon los datos obtenidos en el programa Infostat® (software para análisis estadístico de aplicación general desarrollado bajo la plataforma Windows®), para realizarle el análisis estadístico de varianza al modelo lineal del diseño de parcelas divididas con estructura en parcelas en bloques al azar.

En los cuadros 13 y 14, se detallan los datos obtenidos en el laboratorio del ingenio (peso torta húmeda, % jugo, pol jugo, brix jugo), el rendimiento en toneladas y toneladas de azúcar por hectárea (TAH). Para la obtención de estos datos se calcularon de la siguiente manera:

$$\text{TAH} = \frac{\text{Rendimiento toneladas cortas} * \text{toneladas cortas/ha}}{2000}$$

$$\text{Rendimiento T cortas} = 2000 * (\% \text{ jugo} / 100) * (\text{pol jugo} / 100) * (0.79)$$

$$\text{T cortas/ha} = \frac{\text{T cortas}}{\text{Área}}$$

$$\text{T cortas} = \frac{\text{Peso libras}}{2000}$$

Cuadro 13. Resultados del laboratorio y de los cálculos realizados para obtener el rendimiento y las Toneladas cortas de azúcar por hectárea con una fertilización completa por cada tratamiento.

BLOQU E	TRATAMIENTO	PRODUCCIÓN			Jugo			Peso Torta Húmeda	RENDIMIENTO	
		lb	T cortas	T cortas/ha	grados	pol	%		T cortas	T cortas de azúcar/ha
1	T1 Vedagro	1570	0.785	109.0277778	19.96	17.06	75.80	121.00	204.317384	11.13813517
	T2 Humiplex 50 SG	1676	0.838	116.3888889	15.30	13.60	77.00	115.00	165.4576	9.628713111
	T3 Hybra hume	1698	0.849	117.9166667	19.82	15.94	74.00	130.00	186.37048	10.98809288
	T4 Naturcomplet-G	1632	0.816	113.3333333	20.17	18.70	74.52	127.40	220.176792	12.47668488
	T5 Humita 40	1582	0.791	109.8611111	20.21	17.44	74.20	129.00	204.459584	11.23107854
	T6 Humalite	1566	0.783	108.75	21.62	19.12	74.52	127.40	225.1219392	12.24100544
	T7 Testigo	1704	0.852	118.3333333	20.70	17.87	71.08	144.60	200.6915368	11.87424926
2	T1 Vedagro	2064	1.032	143.3333333	19.50	16.90	74.88	125.60	199.944576	14.32936128
	T2 Humiplex 50 SG	2022	1.011	140.4166667	19.60	16.39	72.16	139.20	186.8669792	13.11961916
	T3 Hybra hume	1966	0.983	136.5277778	19.81	17.17	74.92	125.40	203.2474712	13.87446279
	T4 Naturcomplet-G	1902	0.951	132.0833333	20.90	18.21	75.04	124.80	215.9035872	14.25863274
	T5 Humita 40	1826	0.913	126.8055556	20.69	17.70	74.48	127.60	208.290768	13.20621328
	T6 Humalite	2046	1.023	142.0833333	21.23	18.40	75.08	124.60	218.272576	15.50644759
	T7 Testigo	1876	0.938	130.2777778	19.50	16.04	73.84	130.80	187.1341888	12.18971313
3	T1 Vedagro	2068	1.034	143.6111111	22.00	19.00	73.08	134.60	219.38616	15.7531451
	T2 Humiplex 50 SG	1872	0.936	130	20.17	17.23	75.28	123.60	204.9377552	13.32095409
	T3 Hybra hume	2018	1.009	140.1388889	20.92	17.70	74.36	128.20	207.955176	14.57130365
	T4 Naturcomplet-G	2114	1.057	146.8055556	20.53	17.01	72.52	137.40	194.9033016	14.30644374
	T5 Humita 40	2152	1.076	149.4444444	20.59	17.80	74.64	126.80	209.917536	15.68550477
	T6 Humalite	2404	1.202	166.9444444	21.23	19.60	74.48	127.60	230.649664	19.25284001
	T7 Testigo	2106	1.053	146.25	20.66	18.01	73.72	131.40	209.7761576	15.33988152
4	T1 Vedagro	1906	0.953	132.3611111	21.24	19.38	70.84	145.80	216.9149136	14.35554949
	T2 Humiplex 50 SG	1844	0.922	128.0555556	21.85	19.60	71.24	143.80	220.616032	14.12555427
	T3 Hybra hume	1942	0.971	134.8611111	19.46	16.66	72.48	137.60	190.7876544	12.86491753
	T4 Naturcomplet-G	2186	1.093	151.8055556	20.63	17.93	72.60	137.00	205.671444	15.61103391
	T5 Humita 40	1982	0.991	137.6388889	20.57	17.13	73.76	131.20	199.6343904	13.73872784
	T6 Humalite	1938	0.969	134.5833333	20.03	18.60	72.60	137.00	213.35688	14.35714005
	T7 Testigo	2178	1.089	151.25	19.57	16.16	75.24	123.80	192.1087872	14.52822703

Fuente: elaboración propia, 2015

Cuadro 14. Resultados del laboratorio y de los cálculos realizados para obtener el rendimiento y las TAH cortas con una fertilización reducida por cada tratamiento

BLOQUE	TRATAMIENTO	PRODUCCIÓN			Jugo			Peso Torta Húmeda	RENDIMIENTO	
		lb	T cortas	T cortas/ha	grados	pol	%		T cortas	T cortas de azúcar/ha
1	T1 Vedagro	1434	0.717	99.58333333	21.32	19.01	73.88	130.60	221.9044904	11.04899442
	T2 Humiplex 50 SG	1762	0.881	122.3611111	20.01	17.22	74.40	128.00	202.424544	12.38444606
	T3 Hybra hume	1586	0.793	110.1388889	20.61	17.81	73.60	132.00	207.108928	11.4053736
	T4 Naturcomplet-G	1582	0.791	109.8611111	21.23	18.06	75.40	123.00	215.152392	11.81844042
	T5 Humita 40	1761	0.8805	122.2916667	21.13	19.60	74.00	130.00	229.1632	14.01237483
	T6 Humalite	1240	0.62	86.11111111	19.95	17.31	74.44	127.80	203.5919112	8.765762843
	T7 Testigo	1682	0.841	116.8055556	20.36	17.67	73.48	132.60	205.1458728	11.98108882
2	T1 Vedagro	1984	0.992	137.7777778	19.77	16.44	73.32	133.40	190.4501664	13.11990035
	T2 Humiplex 50 SG	2032	1.016	141.1111111	20.31	17.84	74.24	128.80	209.2617728	14.76458064
	T3 Hybra hume	2148	1.074	149.1666667	19.92	16.48	73.28	133.60	190.8093952	14.23120073
	T4 Naturcomplet-G	1936	0.968	134.4444444	20.08	18.40	72.24	138.80	210.016128	14.11775083
	T5 Humita 40	1816	0.908	126.1111111	19.72	15.84	72.96	135.20	182.5984512	11.51384678
	T6 Humalite	2120	1.06	147.2222222	19.75	17.98	74.89	130.20	212.7505076	15.66080125
	T7 Testigo	2020	1.01	140.2777778	18.01	14.54	72.08	124.80	165.5908256	11.61435652
3	T1 Vedagro	1934	0.967	134.3055556	20.13	19.67	76.54	127.90	237.8756044	15.9740076
	T2 Humiplex 50 SG	1932	0.966	134.1666667	21.16	17.03	75.72	126.50	203.7428328	13.66774837
	T3 Hybra hume	2254	1.127	156.5277778	22.03	18.54	75.01	131.80	219.7282932	17.19679072
	T4 Naturcomplet-G	2174	1.087	150.9722222	20.42	17.32	74.99	129.40	205.2146344	15.49085469
	T5 Humita 40	2004	1.002	139.1666667	21.87	19.45	75.43	129.80	231.803933	16.12969034
	T6 Humalite	2094	1.047	145.4166667	21.61	18.02	74.01	130.10	210.7183116	15.32097724
	T7 Testigo	2106	1.053	146.25	19.03	15.09	73.33	123.90	174.8348526	12.7847986
4	T1 Vedagro	1932	0.966	134.1666667	21.87	18.68	74.83	131.40	220.8562552	14.81577379
	T2 Humiplex 50 SG	1994	0.997	138.4722222	22.12	17.41	75.05	130.10	206.446039	14.29352089
	T3 Hybra hume	2053	1.0265	142.5694444	20.97	18.09	76.58	130.00	218.8824876	15.60297733
	T4 Naturcomplet-G	1984	0.992	137.7777778	20.33	17.54	75.12	127.80	208.1815584	14.34139625
	T5 Humita 40	2086	1.043	144.8611111	21.74	16.87	73.99	129.10	197.2173854	14.28456479
	T6 Humalite	1890	0.945	131.25	19.99	16.03	75.68	126.50	191.6777632	12.57885321
	T7 Testigo	1658	0.829	115.1388889	18.67	15.89	73.81	124.00	185.3088622	10.66812825

Fuente: elaboración propia, 2015

La tabulación de estos datos sirvió para realizar el análisis de varianza en Infostat® con un nivel de significancia del 0.05 %. La prueba nos indica que si existen diferencias significativas entre la relación dosis de fertilización por enmienda, por lo que se procedió a hacerle la prueba de Tukey (análisis post-andeva), para conocer cuál fue la mejor relación de dosis de fertilización con los tratamientos. Los resultados del análisis de varianza se muestran en el cuadro 15.

Cuadro 15. Cuadro del análisis de varianza realizado en Infostat® para las TAH.

<u>Análisis de la varianza</u>					
<u>Variable</u>	<u>N</u>	<u>R²</u>	<u>R² Aj</u>	<u>CV</u>	
<u>TAH</u>	56	0.71	0.56	9.36	
<u>Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)</u>					
<u>F.V.</u>	<u>SC</u>	<u>gl</u>	<u>CM</u>	<u>F</u>	<u>p-valor</u>
<u>Modelo.</u>	146.81	19	7.73	4.74	<0.0001
Fertilización (Fertilización*Bloque)	0.33	1	0.33	1.09	0.3739
Fertilización*Bloque	0.91	3	0.30	0.19	0.9057
Bloque	106.67	3	35.56	21.83	<0.0001
Enmienda	14.70	6	2.45	1.50	0.2048
Fertilización*Enmienda	24.20	6	4.03	2.48	0.0415
Error	58.64	36	1.63		
<u>Total</u>	205.45	55			

Fuente: Infostat®, 2015

El análisis de varianza en Infostat® indica que si existen diferencias significativas entre la interacción dosis de fertilización por bloque. El análisis post-andeva realizado fue la prueba de Tukey (cuadro 16). La prueba de Tukey, indica que todos los tratamientos son similares y no existen diferencias significativas entre ellas, excepto una, entre el tratamiento 6 (Humalite) con una fertilización completa y el tratamiento 7 (testigo) con una fertilización reducida.

Solo en esta comparación se manifiestan diferencias significativas en cuanto al rendimiento (TAH); se manifiesta claramente el T6 Humalite con fertilización completa produce un mejor rendimiento en cuanto a las toneladas de azúcar por hectárea sobre el T7 testigo con fertilización completa, ósea que si existen diferencias significativas entre estos dos tratamientos.

Cuadro 16. Cuadro del test Tukey realizado en Infostat® para las TCH.

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=3.24059					
<i>Error: 1.6290 gl: 36</i>					
Fertilización	Enmienda	Medias	n	E.E.	
completa	T6 Humalite	15.34	4	0.64	A
reducida	T3 Hybra hume	14.61	4	0.64	A B
completa	T4 Naturcomplet-G	14.16	4	0.64	A B
reducida	T5 Humita 40	13.99	4	0.64	A B
reducida	T4 Naturcomplet-G	13.94	4	0.64	A B
completa	T1 Vedagro	13.89	4	0.64	A B
reducida	T2 Humiplex 50 SG	13.78	4	0.64	A B
reducida	T1 Vedagro	13.74	4	0.64	A B
completa	T7 Testigo	13.48	4	0.64	A B
completa	T5 Humita 40	13.47	4	0.64	A B
reducida	T6 Humalite	13.08	4	0.64	A B
completa	T3 Hybra hume	13.07	4	0.64	A B
completa	T2 Humiplex 50 SG	12.55	4	0.64	A B
reducida	T7 Testigo	11.76	4	0.64	B
<i>Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)</i>					

Fuente: Infostat®, 2015

Este análisis nos indica que si hay diferencias significativas entre los productos húmicos y fúlvicos y el testigo, o sea que si hay diferencias significativas entre dos de las subparcelas. Además indica que si hay diferencias significativas en la interacción de

estos dos factores evaluados (subparcelas y parcelas principales) en cuanto a tonelaje de azúcar por hectárea.

2.7 CONCLUSIONES

1. Se observó una muy pequeña diferencia de las medidas de las variables biométricas longitud del tallo, diámetro del tallo y longitudes de entrenudos, tanto a los seis meses de edad del cultivo, como a los seis meses de la aplicación de los productos de fertilización.

En todas las variables biométricas, no existe diferencia estadística significativa para los tratamientos evaluados. Este resultado, nos indica que aplicando cualquiera de los tratamientos (6 diferentes productos más el testigo), así como 2 diferentes dosis de fertilización, habrá mucha similitud en el crecimiento y desarrollo del tallo de la caña de azúcar.

2. El tonelaje de caña por hectárea muestra, en general, una similitud para los datos obtenidos en todos los tratamientos. Estos datos se encuentran en el rango que se obtiene comercialmente en la finca, con un rendimiento alto, que varía entre 80 T/ha y 150 T/ha.

El análisis de varianza realizado en Infostat® confirma que no existen diferencias significativas en el rendimiento de caña por hectárea (T/ha), para los tratamientos evaluados, tal como se manifestó en los datos biométricos. No existe diferencia significativa para rendimiento por hectárea, con la aplicación de productos húmicos y fúlvicos; es decir, no hay diferencias significativas entre las subparcelas. Se determinó que, tampoco existe diferencia significativa de rendimiento, al evaluar las dos diferentes dosis de fertilización aplicadas; es decir, no hay diferencias significativas entre las parcelas principales.

- 3.** El tonelaje de azúcar por hectárea, se manifestó de la misma manera que la biometría y el tonelaje de caña por hectárea. En general, existe similitud en las tres variables medidas (biometría, TCH y TAH), dado que no existen diferencias significativas entre los seis productos húmicos y fúlvicos aplicados y evaluados.

2.8 RECOMENDACIONES

- a) Realizar un análisis completo del suelo. Este análisis incluye en análisis de fertilidad, la capacidad de intercambio catiónico C.I.C. pH, materia orgánica, acidez intercambiable y elementos menores. Todo esto con el fin de conocer y comprende la composición y cantidades de elementos presentes en el suelo, para saber las necesidades del cultivo. Conocer la capacidad de intercambio catiónico y la cantidad de materia orgánica, para saber qué tipos y cantidades de fertilizante orgánicos aplicar. Conocer el pH y la acidez intercambiable para saber si estos dos factores influyen en la producción.

- b) Realizar una investigación para conocer si realmente existe una aplicación extra y alta de fertilización química. Conocer si se pueden lograr los mismos rendimientos en tonelaje de caña por hectárea reduciendo la dosis de fertilización química y sin la aplicación de productos orgánicos. Esto con el fin de saber si existe una contaminación por exceso de aplicación de fertilizantes químicos. Si en ese caso fuera así, en la investigación determinar que dosis de fertilización es la adecuada y correcta para evitar la contaminación.

- c) Continuar con la aplicación de productos a base de ácidos húmicos y fúlvicos, y seguir con la toma de datos biométricos y datos del peso en toneladas de caña por hectárea para saber si estos tienen algún efecto en el rendimiento. Realizar análisis de fertilidad de suelos cada cosecha en los próximos años, para conocer la evolución química de nutrientes y elementos presentes. También realizar análisis físicos anuales al suelo para conocer sus características y su evolución, para apreciar los efectos de los productos a base de ácidos húmicos y fúlvicos en las características del suelo.

2.9 BIBLIOGRAFÍA

1. Aquello, D. 2014. Importancia de los ácidos húmicos y fúlvicos en la agricultura (en línea). Nicaragua, RAMAC. Consultado 19 feb. 2015. Disponible en <http://www.ramac.com.ni/?p=1435>
2. Balzarini, M; Di Rienzo, J; Tablada, M; Gonzalez, L; Bruno, C; Córdoba, M; Robledo, W; Casanoves, F. 2011. Estadística y biometría; Ilustraciones del uso de InfoStat en problemas de agronomía. Buenos Aires, Argentina, Brujas. Consultado 10 ago. 2016. Disponible en <http://agro.unc.edu.ar/~mcia/archivos/Estadistica%20y%20Biometria.pdf>
3. Cubero, D; Vieira, MJ. 1999. Abonos orgánicos y fertilizantes químicos... ¿son compatibles con la agricultura?. *In* Congreso Nacional Agronómico (11., 1999, Costa Rica) / Congreso Nacional de Suelos (3., 1999, Costa Rica). Costa Rica, Colegio de Ingenieros Agrónomos de Costa Rica. p. 61-67. Consultado 26 feb. 2015. Disponible en http://www.mag.go.cr/congreso_agronomico_XI/a50-6907-III_061.pdf
4. FOSAC. 2007. Importancia de los ácidos húmicos MO-STDF (en línea). Fertilizantes Orgánicos SAC. Consultado 26 feb. 2015. Disponible en <http://fosacperu.blogspot.com/2007/07/importancia-de-los-cidos-humicos-del-mo.html>
5. Gonzáles Huiman, FS. 2011. Contaminación por fertilizantes: “un serio problema ambiental” (en línea). Perú, Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible. Consultado 19 feb. 2015. Disponible en <http://fgonzalesh.blogspot.com/2011/01/contaminacion-por-fertilizantes-un.html>
6. LAMECA, Colombia. 2015. El cultivo de la caña (en línea). Colombia. Consultado 10 ago. 2016. Disponible en http://www.lameca.org/dossiers/canne/4_esp.htm
7. Melgar, M; Meneses, A; Orozco, H; Pérez, O; Espinosa, R. 2014. Cultivo de la caña de azúcar en Guatemala. Guatemala, CENGICANA. Consultado 12 feb. 2015. Disponible en <https://es.slideshare.net/mmelgar0506/libro-el-cultivo-de-la-cao-de-azcar-16-febdoc>
8. NETAFIM, Israel. 2010. Caña de azúcar; Manejo de la cosecha (en línea). Israel. Consultado 10 ago. 2016. Disponible en http://www.sugarcancrops.com/s/agronomic_practices/harvesting_management/
9. O'Hallorans, J. 2009. Fertilización de suelos en la producción orgánica (en línea). Puerto Rico, Universidad de Puerto Rico, Estación Experimental Agrícola Rio Piedras. Consultado 20 feb. 2015. Disponible en http://academic.uprm.edu/mbarragan/OHallorans_Fertilizacion.pdf

10. Payeras, A. 2011. Ácidos húmicos y ácidos fúlvicos (en línea). Menorca, España, Bonsái Menorca. Consultado 4 feb. 2015. Disponible en <http://www.bonsaimenorca.com/articulos/articulos-tecnicos/acidos-humicos-y-acidos-fulvicos/>
11. Robles, E. 2012. El azúcar en Guatemala, su producción y exportación (en línea). DeGuate.com. Consultado 4 feb. 2015. Disponible en http://www.dequate.com/artman/publish/produccion-guatemala/El-azucar-en-guatemala-su-produccion-y-exportacion.shtml#.VS_zAdJ_NHw
12. Torres Duggan, M. 2008. ¿Qué es la fertilidad del suelo?: fertilidad física, química y biológica (en línea). MADRI+D. Consultado 22 feb. 2015. Disponible en <http://www.madrimasd.org/blogs/universo/2008/01/29/83481>
13. Villareal, D. 2012. Concepto de fertilizantes químicos (en línea). España, Fertilizantes Químicos. Consultado 20 feb. 2015. Disponible en <http://ilovemyplanet123.blogspot.com/2012/11/que-es-un-fertilizante-las-plantas-para.html>

2.10 ANEXOS



Figura 15A. Aplicación de los productos de fertilización



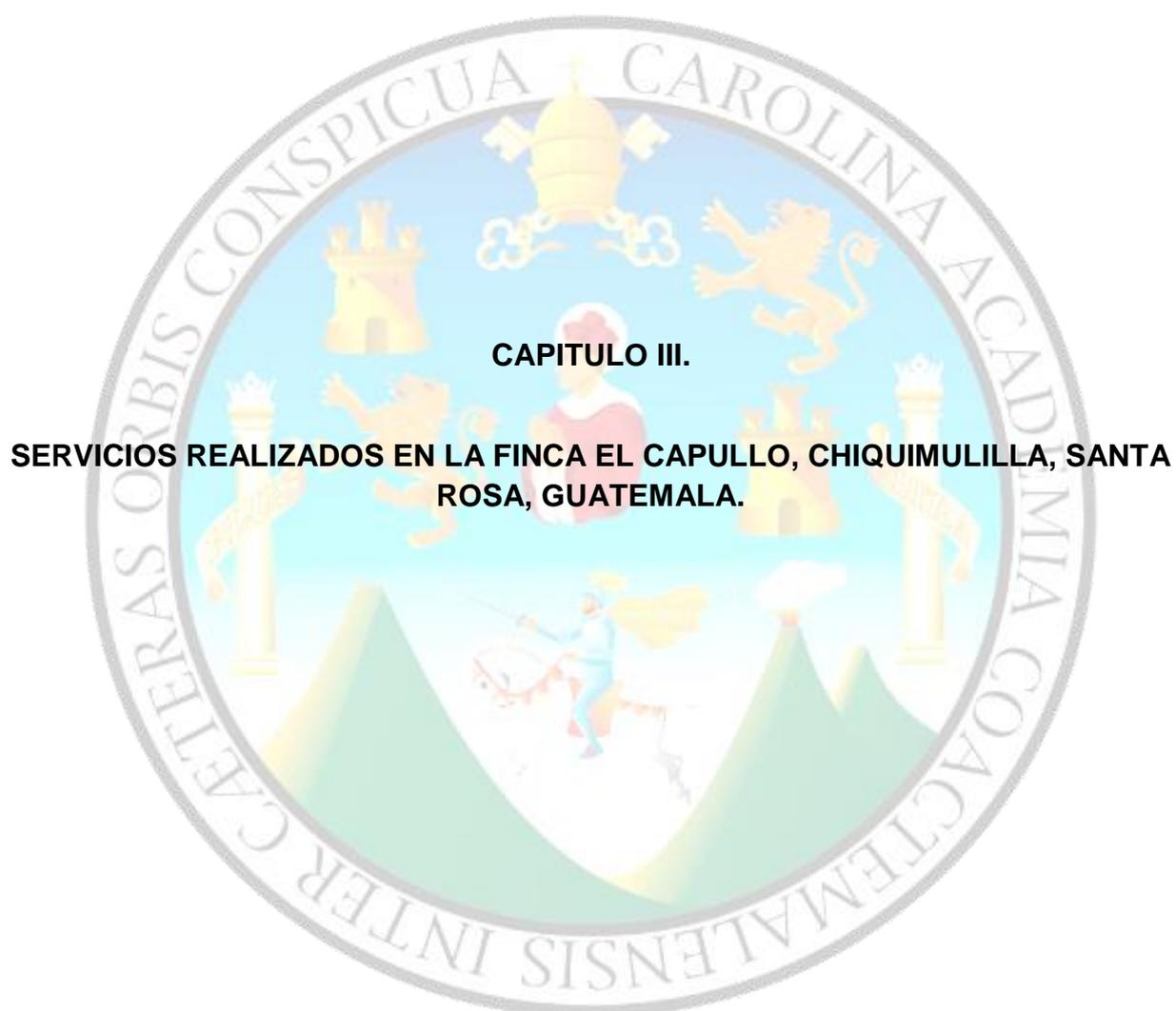
Figura 16A. Incorporación al suelo de los productos de fertilización



Figura 17A. Medición de la altura del tallo de la caña de azúcar con un metro



Figura 18A. Medición de diámetros del tallo de la caña de azúcar con un vernier



SERVICIO # 1: EVALUACIÓN DE ÁCIDOS HÚMICOS Y FÚLVICOS LÍQUIDOS

3.1 PRESENTACIÓN

La caña de azúcar demanda altos requerimientos nutricionales debido a su elevada capacidad de producción de material vegetal (tallos, follaje, cepa y raíces). La fertilización constituye una práctica cultural de máxima importancia. En la finca El capullo la fertilización se basa prácticamente en la producción agrícola convencional; fertilizantes minerales solubles (fertilización química) aplicados continuamente y en grandes cantidades, que conllevan a la degradación del suelo por lixiviación de nutrientes y pérdida de materia orgánica, quedando afectada la fertilidad de los suelos y logrando un impacto negativo en el ecosistema.

En la necesidad de buscar, proponer y encontrar nuevas fuentes de fertilización, llegamos a la conclusión de utilizar productos de ácidos húmicos y fúlvicos líquidos como complementos de la fertilización convencional. Siguiendo con los objetivos de la empresa se busca ser más eficientes y eficaces en los procesos y métodos de fertilización, de esta manera se evaluarán con bases científicas nuevos productos que proporcionen apoyo a la empresa y al mismo tiempo que contribuyan con la solución de algunos problemas de fertilización. Se buscan y se proponen nuevos productos que sean compatibles con el medio ambiente, que disminuyan las dosis y aplicaciones de productos químicos y que generen un menor costo a este proceso.

3.2 MARCO CONCEPTUAL

3.2.1 Ácidos húmicos y fúlvicos

Los ácidos húmicos están presentes en los suelos y son la parte más activa de la materia orgánica del mismo. Son una mezcla de moléculas orgánicas complejas que se forman por descomposición y oxidación de la materia orgánica. Por tanto, la humificación es un proceso progresivo que lleva a la formación de ácidos húmicos (Murillo Gregorio, 2015).

Cuando hablamos de ácidos húmicos incluimos en este concepto también a los ácidos fúlvicos. La diferencia entre unos y otros es su distinto comportamiento en medio básico y ácido. Tanto los ácidos húmicos como los fúlvicos son solubles en medio básico y por ello, se emplea para extraerlos en forma líquida, un extractante alcalino, generalmente hidróxido potásico.

Al ponerlos en medio ácido, los húmicos precipitan por ser insolubles en este medio, mientras que los fúlvicos, se mantienen en fase líquida al ser solubles en medio ácido. Este diferente comportamiento en medio ácido es en lo que se basa el método oficial de análisis para separar y cuantificar los ácidos húmicos y fúlvicos de un producto (Murillo Gregorio, 2015).

Además de esta diferencia los ácidos húmicos y fúlvicos tienen otras diferencias químicas y de comportamiento. Los ácidos húmicos tienen mayor peso molecular que los fúlvicos, mayor capacidad de intercambio catiónico y mayor capacidad de retención de agua. Los ácidos húmicos tienen una acción más lenta y duradera sobre la estructura del suelo y sobre la planta, mientras que los ácidos fúlvicos tienen una acción más rápida sobre la planta pero menos persistente.

Los ácidos húmicos se obtienen por extracción en una solución alcalina de hidróxido potásico. Se pueden extraer también con hidróxido sódico pero mientras el aporte de sodio saliniza los suelos, el potasio es, junto al nitrógeno y al fósforo, uno de los tres nutrientes primarios imprescindibles para el desarrollo de los vegetales (Murillo Gregorio, 2015).

Los ácidos húmicos influyen positivamente en la fertilidad de un suelo favoreciendo la actividad microbiana y realizando diversas acciones en función del tipo de suelo donde los apliquemos. Si hablamos de terrenos arcillosos, ayudan a mejorar la estructura del suelo, consiguiendo mejorar la permeabilidad del terreno y aumentar la aireación a nivel radicular de la planta. En los suelos arenosos, que suelen tener bajos niveles de materia, ayudan a incrementar el intercambio catiónico de los macro y micronutrientes, mejoran la capacidad de retención de agua y por lo tanto se evita una pérdida de nutrientes por lixiviación. De forma general, la aplicación de ácidos húmicos y fúlvicos en el suelo, contribuyen al desbloqueo de los nutrientes y actúan como agentes complejantes naturales, facilitando la asimilación de los mismos en la planta (Murillo Gregorio, 2015).

Entre los efectos beneficiosos que provocan sobre la planta podemos observar: un incremento radicular, por tanto una mayor absorción de elementos nutritivos; un mayor desarrollo vegetativo; favorecen los procesos fisiológicos y contribuyen a un mayor rendimiento del cultivo.

Tradicionalmente estos productos se han comercializado y se siguen comercializando en forma líquida en los distintos formatos, desde la botella de 1 litro pasando por distintos envases de 5, 20 y 1000 litros, hasta llegar a cisternas de 24 toneladas para ser aplicados en las grandes fincas (Murillo Gregorio, 2015).

Los ácidos húmicos se pueden aplicar a todo tipo de cultivos. Influyen en una mejora de las condiciones del suelo y esto siempre va muy bien a los cultivos. Pero claro, hay determinados cultivos como los extensivos que hay que reducir costes al máximo para obtener una mínima rentabilidad y como los húmicos no son estrictamente indispensables, no se suelen utilizar.

Los ácidos húmicos son aplicados directamente al suelo mediante los distintos sistemas de riego. Generalmente su aplicación es por riego gota a gota y por aspersión, son los dos sistemas por los cuales mejor se distribuye el producto sobre el terreno (Murillo Gregorio, 2015).

3.3 OBJETIVOS

3.3.1 Objetivo general

Evaluar los efectos que generan los diferentes ácidos húmicos y fúlvicos sobre el desarrollo y crecimiento del cultivo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L).

3.3.2 Objetivos específicos

- a) Determinar en variables biométricas el producto húmico/fúlvico aplicado, que provoca el mejor desarrollo y crecimiento en el cultivo de caña.
- b) Conocer el producto que mejor crecimiento y desarrollo proporcione al cultivo de caña de azúcar.

3.4 METODOLOGÍA

3.4.1 Selección del pante para montar el ensayo de investigación

Se buscó un área homogénea para que no hubiera otra variable más que pudiera afectar los resultados de la evaluación. El pante # 2 fue el seleccionado, de la finca El Capullo, Chiquimulilla, Santa Rosa, Guatemala.

3.4.2 Trazado de las parcelas experimentales

Se realizaron 40 parcelas utilizando estacas que delimitaron los tratamientos y repeticiones, cada parcela estará compuesta de 4 surcos de 10 metros de largo y 1.8 metros de separación, lo que equivale a un área de 72 m² por unidad experimental o parcela.

El diseño experimental que fue utilizado es el de diseño de bloques al azar, con cuatro repeticiones, dentro de los cual se distribuyeron los 12 tratamientos para cada bloque o repetición.

3.4.3 Pesado e identificado productos

Cada una de las dosis y productos a aplicar, se midió por separado en una probeta en el campo antes del momento de aplicación y de acuerdo a su dosis equivalente por parcela para cada tratamiento. Las dosis por hectárea de los productos húmicos y fúlvicos las podemos observar en el la cuadro 17.

3.4.4 Aleatorización de los tratamientos

Luego de tener trazadas las unidades experimentales (parcelas), se procedió a la aleatorización de los tratamientos, procurando que ninguno de los tratamientos quedara a la par del mismo. La aleatorización de estos se puede observar en la figura 19.

3.4.5 Aplicación de los tratamientos

Un día antes de la siembra cuando el suelo ya estaba preparado se aplicaron los productos utilizando bombas ya calibradas marca Matabi® de 16 litros. Las formas de aplicación se observan en el cuadro 18.

Cuadro 17. Dosis de los tratamientos por parcela y por hectárea.

No.	Producto	Dosis ha
T1	Solum F30 / Solum H80	2 Lt
T2	K-tionic	2 Lt
T3	Sumagrow	9.5 Lt
T4	Nutrivert hummicos WP	5 Kg
T5	Humitron	2 Lt
T6	HCA – 25	5 Lt
T7	Natur vital	5 Lt
T8	Organic field suelo	3.75 Lt
T9	Humiplex / K-tionic	40 Kg / 1 Lt
T10	Humita 15	5 Lt
T11	Humibasic	5 Lt
T12	Testigo absoluto	0

Fuente: elaboración propia, 2015

R2						R1					
T5	T12	T8	T6	T11	T1	T5	T7	T4	T8	T3	T11
T7	T2	T10	T4	T9	T3	T10	T2	T9	T1	T6	T12
T11	T9	T3	T8	T4	T7	T4	T11	T1	T5	T8	T6
T1	T12	T5	T2	T6	T10	T2	T7	T12	T9	T3	T10
R3						R4					

Fuente: elaboración propia, 2015

Figura 19. Trazado y aleatorización de los tratamientos.

3.4.6 Muestreo biometría

Estas variables se midieron a los 5 meses de edad del cultivo; a los 5 meses de la aplicación de los productos. Este procedimiento es el establecido por el Ingenio y los pasos son los siguientes:

- I. De cada parcela se escogen 2 surcos al azar y de cada surco se escogen 5 plantas al azar, a cada planta se le medirán las siguientes variables.
- II. Con una cinta métrica se mide la altura del tallo de la caña de azúcar, desde la base del suelo hasta el cogollo, para conocer la **longitud del tallo**.
- III. Se cuenta la cantidad de entrenudos y con una cinta métrica se mide lo largo entre cada entrenudo, para conocer las **longitudes de cada entrenudo**.
- IV. Con un Vernier se mide el grosor de los entrenudos 3, 7 y 10 del tallo de la caña de azúcar, para conocer el **diámetro del tallo**.

Cuadro 18. Formas de aplicación de los tratamientos.

No.	Producto	Forma de aplicación
T1	Solum F30 / Solum H80	Drens 200 Lt/ha una sola aplicación unidos los productos
T2	K-tionic	Drens 200 Lt/ha una sola aplicación
T3	Sumagrow	Drens 200 Lt/ha una sola aplicación
T4	Nutrivert hummicos WP	Drens 400 Lt/ha una sola aplicación
T5	Humitron	Drens 200 Lt/ha una sola aplicación
T6	HCA – 25	Drens 200 Lt/ha una sola aplicación
T7	Natur vital	Drens 200 Lt/ha una sola aplicación
T8	Organic field suelo	Drens 200 Lt/ha una sola aplicación
T9	Humiplex / K-tionic	Drens 200 Lt/ha una sola aplicación unidos los productos
T10	Humita 15	Drens 400 Lt/ha una sola aplicación
T11	Humibasic	Drens 200 Lt/ha una sola aplicación
T12	Testigo absoluto	Sin aplicación de ningún producto húmico / fúlvico

Fuente: elaboración propia, 2015

3.4.7 Análisis de datos

3.4.7.1 Hipótesis

Al menos uno de los tratamientos aplicados con ácidos húmicos y fúlvicos causara diferencias significativas en el crecimiento y desarrollo de la caña de azúcar, para las condiciones de la finca El Capullo en la variedad 722086.}

3.4.7.2 Descripción de los tratamientos

Se evaluaron 10 tratamientos; 1 testigo y 9 productos, las dosis y la forma de aplicación se detallan en los cuadros 1 y 2.

3.4.7.3 Diseño experimental

Como las condiciones del lugar tienden a ser uniformes, el experimento se realizó bajo un diseño de bloques al azar (DBA), con diez tratamientos y cuatro repeticiones.

3.4.7.4 Unidad experimental

Estará constituida por un total de 4 surcos separados a 1.8 m entre surco y 10 m de largo, dando como resultado un área de 72 m² por unidad experimental.

3.5 RESULTADOS

Los resultados obtenidos fueron puramente indicadores de biométricos, como altura, grosor y número de entrenudos, los cuales se presentan a continuación.

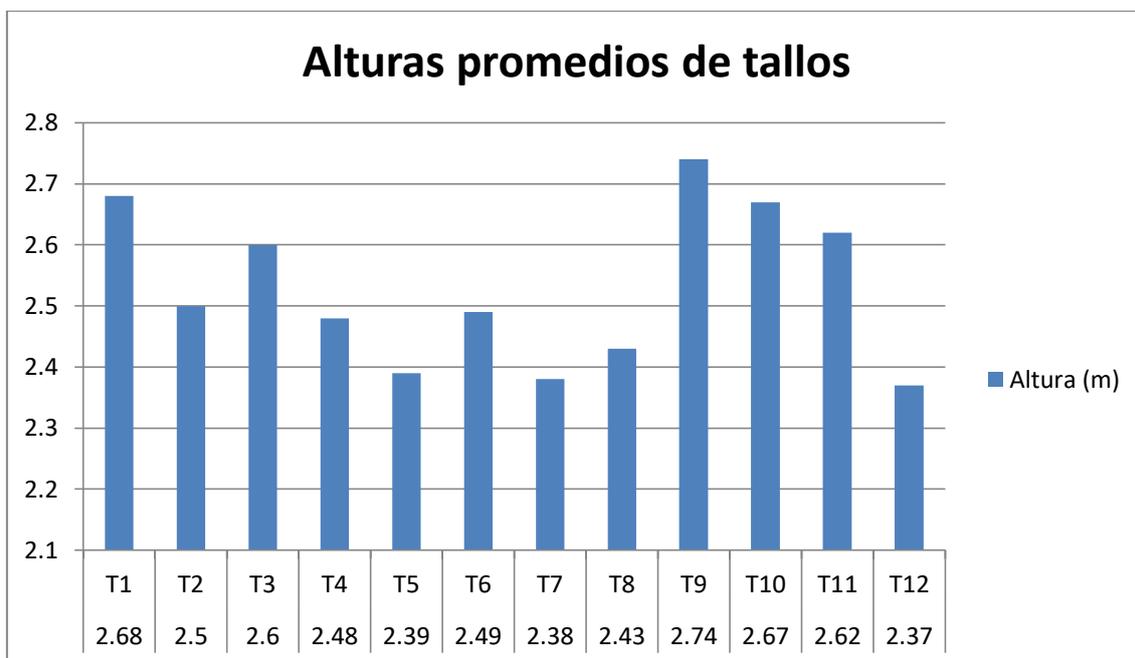
3.5.1 Altura o longitud del tallo

En el cuadro 19 y en la figura 20 se detallan las alturas promedio que provocan los tratamientos en los tallos de la caña de azúcar.

Cuadro 19. Altura promedio de cada tratamiento.

No.	Producto	Altura (m)
T1	Solum F30 / Solum H80	2.68
T2	K-tionic	2.50
T3	Sumagrow	2.60
T4	Nutrivert hummicos WP	2.48
T5	Humitron	2.39
T6	HCA – 25	2.49
T7	Natur vital	2.38
T8	Organic field suelo	2.43
T9	Humiplex / K-tionic	2.74
T10	Humita 15	2.67
T11	Humibasic	2.62
T12	Testigo absoluto	2.37

Fuente: elaboración propia, 2015



Fuente: elaboración propia, 2015

Figura 20. Alturas o longitudes promedios por tratamientos.

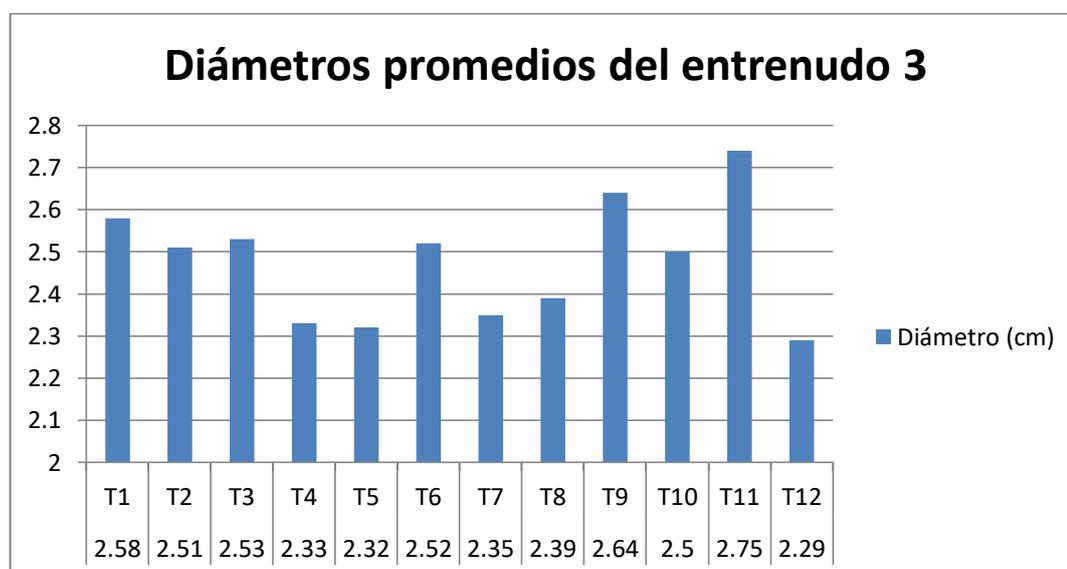
3.5.2 Grosor o diámetro del tallo

En el cuadro 20 y en las figuras 21, 22, 23 y 24 se detallan los diámetros promedios de los entrenudos 3, 7 y 10 respectivamente, y el diámetro promedio del tallo de la caña de azúcar que provoca cada tratamiento.

Cuadro 20. Diámetro promedio en centímetros por entrenudo medido y el diámetro promedio de cada tratamiento.

No.	Producto	Diámetro Entrenudo 3 (cm)	Diámetro Entrenudo 7 (cm)	Diámetro Entrenudo 10 (cm)	Diámetro promedio del tallo (cm)
T1	Solum F30 / Solum H80	2.58	2.53	2.55	2.55
T2	K-tionic	2.51	2.42	2.44	2.45
T3	Sumagrow	2.53	2.49	2.49	2.50
T4	Nutrivert hummicos WP	2.33	2.35	2.29	2.32
T5	Humitron	2.32	2.35	2.27	2.31
T6	HCA – 25	2.52	2.47	2.45	2.48
T7	Natur vital	2.35	2.37	2.33	2.35
T8	Organic field suelo	2.39	2.34	2.30	2.34
T9	Humiplex / K-tionic	2.64	2.54	2.57	2.58
T10	Humita 15	2.50	2.64	2.60	2.54
T11	Humibasic	2.74	2.60	2.66	2.60
T12	Testigo absoluto	2.29	2.25	2.21	2.25

Fuente: elaboración propia, 2015

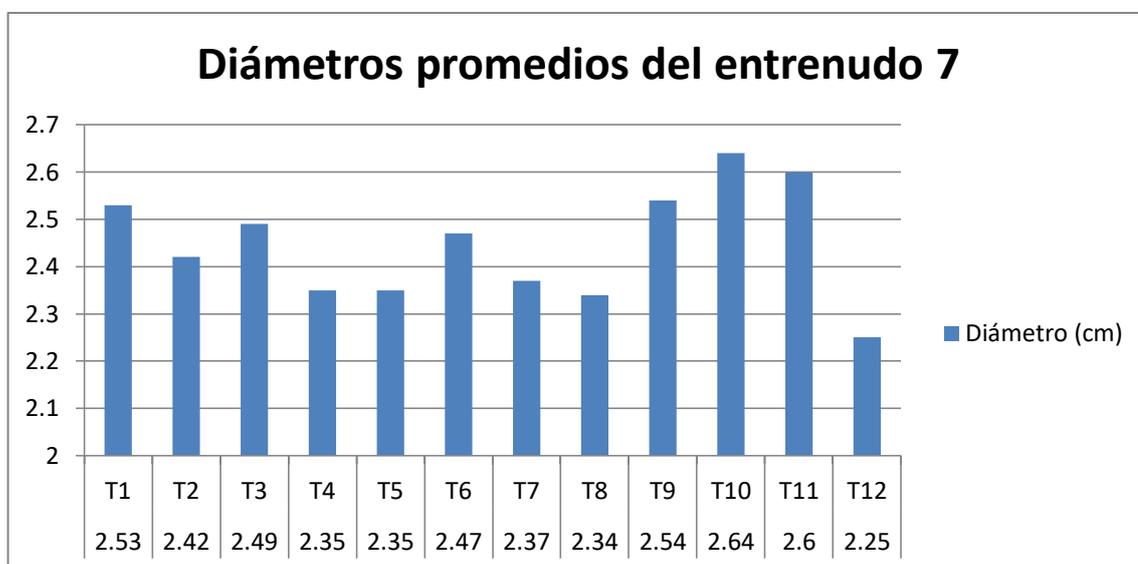


Fuente: elaboración propia, 2015

Figura 21. Grosor promedio de entrenudo 3 por tratamientos.

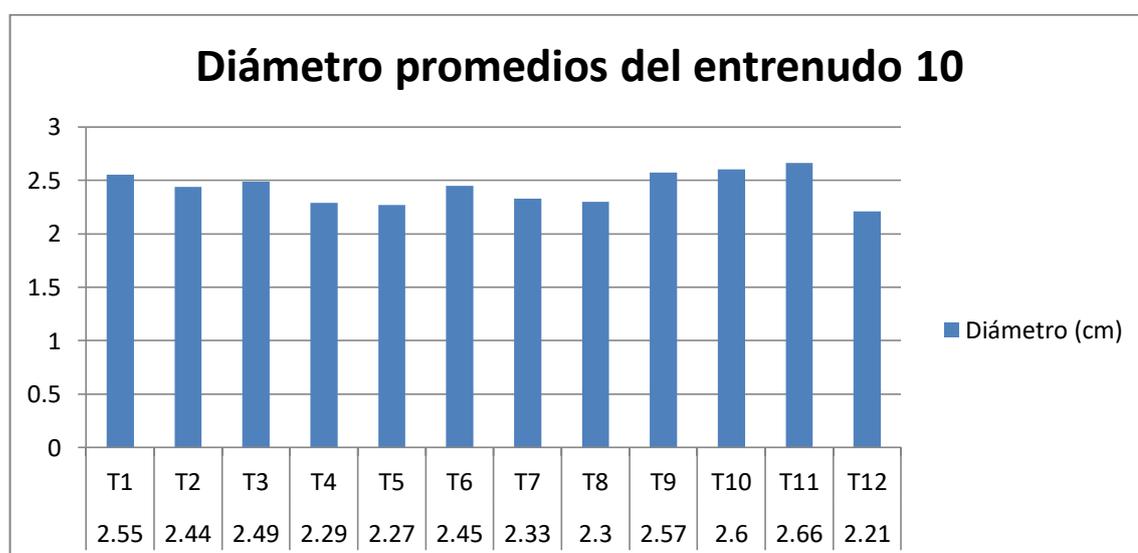
3.5.3 Longitudes de cada entrenudo

En el cuadro 21 se detallan las longitudes promedio de los entrenudos que provoca cada tratamiento.



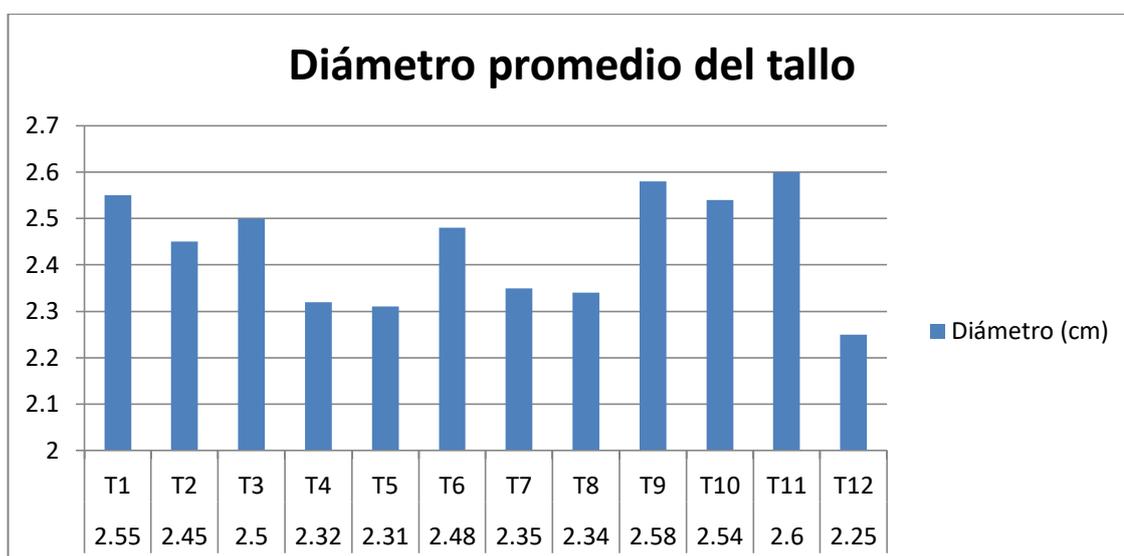
Fuente: elaboración propia, 2015

Figura 22. Grosor promedio de entrenudo 3 por tratamientos.



Fuente: elaboración propia, 2015

Figura 23. Grosor promedio de entrenudo 10 por tratamientos.



Fuente: elaboración propia, 2015

Figura 24. Grosor promedio del tallo por tratamientos.

Cuadro 21. Longitud promedio en centímetros por entrenado medido de cada tratamiento.

No.	Entre1	Entre2	Entre3	Entre4	Entre5	Entre6	Entre7	Entre8	Entre9	Entre10	Entre11	Entre12	Entre13	Entre14
T1	9.91	12.00	13.92	15.39	16.95	18.28	18.70	18.51	17.19	17.22	15.80	15.99	14.97	14.00
T2	9.77	11.99	12.38	14.90	16.57	17.25	18.21	17.53	17.10	16.89	16.20	16.42	15.15	13.57
T3	9.39	12.76	14.45	15.80	15.16	16.53	16.12	17.70	17.53	18.67	17.15	16.64	15.75	14.28
T4	9.75	11.75	13.29	14.54	15.50	16.82	17.90	18.43	18.00	17.15	16.97	16.48	15.30	14.83
T5	9.42	11.40	13.44	14.78	16.31	17.30	18.28	18.64	18.27	17.90	17.42	16.70	14.62	14.25
T6	9.33	11.11	14.70	15.83	17.00	17.57	17.75	17.92	18.65	16.53	16.59	15.33	14.98	13.92
T7	9.59	11.62	13.99	14.89	16.34	17.36	18.33	17.48	17.21	16.74	16.31	15.25	14.11	13.50
T8	9.12	11.50	13.75	15.00	16.59	17.25	17.30	17.85	17.72	17.87	16.75	15.66	14.73	13.41
T9	9.75	12.39	14.25	14.57	15.90	16.33	17.48	18.57	18.35	18.92	17.60	17.10	16.69	14.90
T10	9.60	12.82	14.19	15.62	15.36	16.91	15.89	16.83	18.74	18.00	17.52	16.91	15.86	14.75
T11	9.13	12.91	14.72	15.98	17.13	17.45	18.50	18.66	18.41	18.45	18.28	16.33	15.40	14.00
T12	9.45	11.00	12.21	14.77	15.98	16.30	17.75	17.90	17.98	16.44	15.25	15.12	14.70	13.19

Fuente: elaboración propia, 2015

3.6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

a) La combinación de una fertilización química con una fertilización orgánica; con ácidos húmicos y fúlvicos, trae consecuencias benéficas al suelo y por consiguiente a la producción de caña de azúcar. Estos promueven la mejora de la actividad nutricional del suelo; aumentan la asimilación de los macro y microelementos, promueven la conversión y quelatización de un número de elementos menores hacia formas disponibles a las plantas, favorecen el crecimiento de varios microorganismos benéficos y así favorecen los procesos energéticos de las plantas. Por estos motivos se ha logrado un mejor crecimiento y desarrollo en la caña de azúcar donde fueron aplicados estos productos. Todos los tratamientos aplicados sobresalen y muestran diferencias notables sobre el tratamiento 12 (testigo) donde no se aplicó ningún tipo de producto húmico / fúlvico y donde los datos biométricos muestran las cantidades más bajas de crecimiento y desarrollo, el promedio es de 2.37m en altura y 2.25 en cuanto a diámetro del tallo de la caña de azúcar.

b) De acuerdo a los resultados obtenidos en los tallos la diferencia de altura promedio entre la mayor y la menor es de 0.37m (37 cm) y la diferencia del diámetro promedio es de 0.35m (35 cm), los datos biométricos obtenidos a los cinco meses de la aplicación determina en cuanto a la altura y el diámetro que tratamiento fue mejor, ya que existen diferencias significativas marcadas por algunos productos. El orden de estos cuatro tratamientos del mayor al menor en datos biométricos es: Humiplex / K-tionic, Humibasic, Solum F30 / Solum H80 y Humita 15 respectivamente, con un promedio de 2.67m de altura y 2.56m de diámetro.

Estos son los cuatro mejores tratamientos aplicados; los que más produjeron crecimiento y desarrollo en la caña de azúcar para estas condiciones, siendo el mejor de estos el tratamiento 9, la mezcla de dos productos diferentes; el Humiplex que es un polvo mojable diluido en una mezcla de agua y K-tionic, el otro producto que es líquido y su función principal es promover la conversión y quelatización de elementos menores hacia formas disponibles a las plantas.

Con respecto a los tratamientos 2, 3, 4, 5, 6, 7 y 8 (K-tionic, Sumagrow, Nutrivert hummicos, Humitron, NaturVital, Organic fiel suelo, respectivamente) muestran promedios biométricos similares, existiendo pocas diferencias entre ellos,

manteniéndose en un rango de 2.40m a 2.60m en cuanto a altura y en un rango de 2.30m a 2.55m en cuanto al diámetro del tallo. Los tratamientos 2, 3, 4, y 8 se encuentran en lo más alto de este rango, el orden de estos tratamientos del mayor al menor en datos biométricos es; Sumagrow, K-tionic, HCA-25, Nutrivert hummicos y Organic Fiel suelo respectivamente, con un promedio de 2.50m de altura y 2.41m de diámetro. Se puede decir que estos cuatro tratamientos se encuentran en la media en cuanto a los datos biométricos en general de todos los tratamientos. Los tratamientos que se encuentran en la parte más baja de estos datos son el 5 y 7, en ese orden respectivamente; Humitron y NaturVital, con un promedio de 2.40m de altura y 2.33m de diámetro. Dejando como último y el peor, el tratamiento 12, el testigo.

- c)** Estos resultados de biometría nos indican que la aplicación del tratamiento 9: Humiplex / K-tionic, es el mejor ya que presenta los datos biométricos más altos sobre los demás tratamientos, el promedio es de 2.70m de altura y 2.60m de diámetro del tallo. Pero estas diferencias son mínimas sobre los tratamientos 1, 10 y 11 (SolumF30 / Solum H80, Humibasic y Humita 15 respectivamente), estos tratamientos tienen promedios biométricos similares y son los que presentan mejor desarrollo en la caña de azúcar para las condiciones en la finca.

3.7 BIBLIOGRAFÍA

1. Aquello, D. 2014. Importancia de los ácidos húmicos y fúlvicos en la agricultura (en línea). Nicaragua, RAMAC. Consultado 19 feb. 2015. Disponible en <http://www.ramac.com.ni/?p=1435>
2. Gonzáles Huiman, FS. 2011. Contaminación por fertilizantes: “un serio problema ambiental” (en línea). Perú, Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible. Consultado 19 feb. 2015. Disponible en <http://fgonzalesh.blogspot.com/2011/01/contaminacion-por-fertilizantes-un.html>
3. Murillo Aznar, G. 2015. Los ácidos húmicos y ácidos fúlvicos (en línea). España, JISA. Consultado 18 jul. 2018. Disponible en <https://www.acidoshumicos.com/los-acidos-humicos-y-acidos-fulvicos/>

SERVICIO # 2: EVALUACIÓN DE FERTILIZANTES DE MEZCLA QUÍMICA CONTRA MEZCLA FÍSICA

3.8 PRESENTACIÓN

En la actualidad se producen fuentes inorgánicas para la nutrición vegetal, como es el caso de los productos conocidos como NPK que resultan de la reacción química de varias materias primas ricas en nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K); con esta tecnología se obtienen fertilizantes homogéneos de alta calidad, con la garantía de que cada partícula tiene la misma composición que se está ofreciendo al productor. Sin embargo, a pesar de las ventajas evidentes de esta tecnología, su uso es cada vez más restringido por los altos costos de inversión y la dificultad de manejo cuando se utiliza en sistemas de agricultura de precisión.

El uso de mezclas físicas de fertilizantes es una práctica común en la agricultura, donde el proceso de manejo de las mezclas ha alcanzado cierto grado de industrialización. No obstante, cuando en la preparación de las mezclas se utilizan fuentes con tamaños, pesos y características diferentes, su aplicación puede ser menos eficiente que el uso de la fuente simple. Por ello la calidad de los productos utilizados en las mezclas y su compatibilidad química tienen un papel muy importante en el valor nutritivo del producto resultante.

Por su parte, la mezcla física es una tecnología que permite ajustar los niveles de cada uno de los nutrientes y, por lo tanto, es muy útil en el sistema de agricultura de precisión. Además, con la formulación adecuada, la mezcla física puede ser más económica que la fertilización completa con NPK comercial y se puede conseguir un efecto agronómico similar.

3.9 MARCO CONCEPTUAL

3.9.1 Fertilizantes mezcla química

También conocidos como abonos compuestos, complejos y/o fertilizantes complejos. Son productos que contienen dos o tres de los nutrientes básicos: nitrógeno, fósforo y potasio. Además pueden contener nutrientes secundarios y micronutrientes (AgroEs, 2016).

El proceso de fabricación de abonos complejos consiste en hacer reaccionar químicamente las distintas materias primas que los componen y posteriormente, la papilla resultante se granula, seca, clasifica y acondiciona. Con ello se garantiza que cada gránulo del complejo tiene exactamente el mismo contenido de N, P y K, siendo ésta la principal diferencia con los abonos de mezcla o blending, en los que cada gránulo contiene sólo uno, o como máximo, dos nutrientes.

El nitrógeno contenido en estos abonos se puede presentar en forma nítrica, amoniacal o ureica, dependiendo de las materias primas utilizadas en su fabricación. El fósforo se obtiene atacando totalmente la roca fosfórica pulverizada con ácidos fuertes o bien, utilizando directamente fosfato monoamónico. De esta manera se consigue que todo el fósforo que se incorpora al suelo sea soluble en agua y en citrato amónico neutro, es decir, completamente asimilable por los cultivos. El potasio, que es siempre soluble en agua, puede proceder del cloruro o del sulfato potásico. Se emplea sulfato en suelos con problemas de salinidad o con cultivos sensibles al cloruro. La aplicación de potasa en forma de cloruro es apropiada para todos los suelos, con la única excepción de los suelos con salinidad elevada. En los suelos calizos, es altamente recomendable el uso de cloruro potásico (AgroEs, 2016).

Los abonos complejos se aplican en sementera o fondo, distribuyéndolos homogéneamente. Se aconseja su enterramiento a cierta profundidad para localizar los nutrientes cerca de las raíces y facilitar así la absorción, en especial del fósforo y del potasio. Las dosis de abonado recomendadas dependerán del contenido en nutrientes de cada fórmula, es decir, de las concentraciones de nitrógeno, fósforo y potasio y del equilibrio, que es la proporción en la que se encuentran los tres elementos nutritivos.

En el mercado existen numerosas fórmulas de abonos complejos NPK con gran variedad de su composición y sus diferentes formas químicas de los nutrientes que contienen (AgroEs, 2016).

3.9.2 Fertilizantes mezcla física

Los abonos de mezcla o blending son mezclas físicas de distintas materias primas, sin reacción química, pero que contienen, al igual que los abonos complejos, dos o tres nutrientes principales en su composición. Se trata de una mezcla de sustancias heterogéneas en cuanto a sus características físicas y químicas.

Consiste en combinaciones de diversos materiales fertilizantes simples que proporcionan dos o más elementos nutritivos y se mezclan para obtener una fórmula predeterminada, y siguiendo como receta los índices de fertilidad que demuestran los resultados de los análisis de suelos, vegetales y por supuesto los requerimientos del cultivo.

Poseen la viabilidad de convertirse en mezclas multinutrientes, lo que la hace una fórmula realmente completa. Esta expresión comprende mezclas de polvos secos y húmedos, mezclas de granulados, suspensiones y soluciones de fertilizantes (FERTURCA, 2016).

Consisten en el mezclado de fertilizantes sólidos, simples o complejos, de tal manera que luego de mezclados cada partícula conserva sus propiedades físicas y químicas, no hay ningún tipo de transformación por no ocurrir reacciones químicas, ni presión suficiente para producir fragmentación de las partículas de las materias primas. Debido a estas características, los productos utilizados como materia prima deben poseer partículas de tamaños similares para evitar una excesiva segregación que origine aplicaciones de fertilizantes muy desuniformes o irregulares. Así mismo, se debe realizar un buen mezclado disponiendo de equipos de calidad durante el tiempo necesario para lograr la mayor uniformidad posible en la mezcla y, luego, evitar transportar las mezclas físicas por largas distancias, ya que en el tránsito se favorece la segregación de las partículas componentes según sus densidades.

Estos productos, a pesar de algunas limitaciones como lo indicado previamente, ofrecen importantes ventajas a los productores al permitir una amplísima gama de formulaciones, las cuales se pueden generar para satisfacer los requerimientos particulares de cada sistema suelo-planta-clima. Es lo que se ha denominado ofrecer una combinación de nutrientes a la carta para cada sistema. Las mezclas físicas también permiten preparar fertilizantes muy concentrados, con lo que se aplicarían menores cantidades por unidad de superficie disminuyendo los costos de flete y de aplicación en el campo (Solórzano Pedro, 2017).

Los abonos complejos presentan, frente a las mezclas, las siguientes ventajas:

- a) Cada gránulo contiene los tres nutrientes, lo que facilita un mayor aprovechamiento por la planta.
- b) Son químicamente estables y presentan menor higroscopicidad.
- c) Son más resistentes a la abrasión y a la formación de polvo.
- d) La granulometría es uniforme, lo que mejora la distribución.
- e) Evitan la segregación de los componentes durante el transporte, almacenamiento, etc.

Por el contrario, los abonos de mezcla suelen tener un menor coste por unidad de nutriente, y facilitan la elaboración de fórmulas específicas (AgroEs, 2016).

3.10 OBJETIVOS

3.10.1 Objetivo general

Evaluar la respuesta en crecimiento y desarrollo en el cultivo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum L*) que producen las formulas químicas de fertilizantes y las formulas en mezcla física.

3.10.2 Objetivos específicos

- a)** Cuantificar en variables biométricas el crecimiento y desarrollo que provocan los diferentes fertilizantes aplicados.

- b)** Conocer la mezcla y la dosis que mejor crecimiento y desarrollo proporcione al cultivo de caña de azúcar.

3.11 METODOLOGÍA

3.11.1 Selección del pante para montar el ensayo de investigación

Se buscó un área homogénea para que no hubiera otra variable más que pudiera afectar los resultados de la evaluación. . El pante # 16 fue el seleccionado, de la finca El Capullo, Chiquimulilla, Santa Rosa, Guatemala.

3.11.2 Trazado de las parcelas experimentales

Se realizaron 24 parcelas utilizando estacas que delimitaron los tratamientos y las repeticiones, compuestas por 5 surcos a un distanciamiento de 1.6 m entre surco, por un largo de 10 m, para un total de 80 m² por unidad experimental o parcela.

El diseño experimental que fue utilizado es el de diseño de bloques al azar, con cuatro repeticiones, dentro de las cuales se distribuyeron los 6 tratamientos; los cuales el 2 y el 3 constan de fórmulas químicas de Fertica® y los tratamientos 3, 4 y 5 son mezclas físicas a base de urea, triple superfosfato (TSP) y muriato de potasio (MOP), y el tratamiento 1 es el testigo.

3.11.3 Pesado e identificado productos

Cada una de las dosis y productos a aplicar se pesó por separado en una balanza digital y llevadas al campo en bolsas plásticas de acuerdo a su peso equivalente por parcela para cada tratamiento y así lograr una distribución uniforme para cada parcela del experimento. Las dosis por hectárea de los fertilizantes los podemos observar en el cuadro 22.

3.11.4 Aleatorización de los tratamientos

Luego de tener trazadas las unidades experimentales (parcelas) y los productos pesados, se procedió a la aleatorización de los tratamientos, procurando que ninguno de los tratamientos quedara a la par del mismo, la aleatorización de estos se puede observar en la figura 25.

3.11.5 Aplicación de los tratamientos

El día de la siembra cuando el suelo ya estaba preparado se zanjeo con azadón el suelo y se tapó después de aplicar al fondo del surco como se observan en el cuadro 23.

Cuadro 22. Dosis de los tratamientos por parcela y por hectárea.

No.	Formula / Producto	Dosis ha	N	P	K	Sulfato de Calcio	Sulfato de Zinc	Sulfato de Amonio
T1	Testigo absoluto	0	0	0	0	0	0	0
T2	Mezcla química Fertica®	98 kg	81.6	81.6	103.32	10.8	0	38.04
T3	Mezcla química Fertica®	81 kg	81.6	32.6	45.3	22.6	1.3	39.9
T4	Mezcla física	80 kg	19	27	27	0.05	0	0.21
T5	Mezcla física	100 kg	21	12	11	0.11	9.43	0.17
T6	Mezcla física	120 kg	99	40	80			

Fuente: elaboración propia, 2015

	T2	T3	T6	T3	T4	T5	
R4	T1	T5	T4	T1	T6	T2	R1
	T5	T2	T6	T3	T4	T1	
R3	T4	T1	T3	T6	T5	T2	R2

Fuente: elaboración propia, 2015

Figura 25. Trazado y aleatorización de los tratamientos.

3.11.6 Muestreo biometría

Estas variables se midieron a los 5 meses de edad del cultivo; a los 5 meses de la aplicación de los productos. Este procedimiento es el establecido por el Ingenio y los pasos son los siguientes:

- I. De cada parcela se escogen 2 surcos al azar y de cada surco se escogen 5 plantas al azar, a cada planta se le medirán las siguientes variables.
- II. Con una cinta métrica se mide la altura del tallo de la caña de azúcar, desde la base del suelo hasta el cogollo, para conocer la **longitud del tallo**.
- III. Se cuenta la cantidad de entrenudos y con una cinta métrica se mide lo largo entre cada entrenudo, para conocer las **longitudes de cada entrenudo**.
- IV. Con un Vernier se mide el grosor de los entrenudos 3, 7 y 10 del tallo de la caña de azúcar, para conocer el **diámetro del tallo**.

Cuadro 23. Forma de aplicación de los tratamientos.

No.	Formula / Producto	Forma de aplicación
T1	Testigo absoluto	Sin aplicación de ningún producto
T2	Mezcla química Fertica®	Al fondo del surco una sola aplicación
T3	Mezcla química Fertica®	Al fondo del surco una sola aplicación
T4	Mezcla física	Al fondo del surco una sola aplicación
T5	Mezcla física	Al fondo del surco una sola aplicación
T6	Mezcla física	Al fondo del surco una sola aplicación

Fuente: elaboración propia, 2015

3.11.7 Análisis de datos

3.11.7.1 Hipótesis

Al menos uno de los tratamientos causara diferencias significativas en el crecimiento y desarrollo del cultivo de caña de azúcar, para las condiciones de la finca El Capullo en la variedad Mex 79-431.

3.11.7.2 Descripción de los tratamientos

Se evaluarán 6 tratamientos de los cuales los tratamientos 2 y 3 constan de fórmulas químicas de Fertica® y los tratamientos 4, 5 y 6 son mezclas físicas a base de urea, triple superfosfato (TSP) y muriato de potasio (MOP), y el tratamiento 1 es el testigo. Las dosis y la forma de aplicación se detallan en los cuadros 6 y 7.

3.11.7.3 Diseño experimental

Como las condiciones del lugar tienden a ser uniformes, el experimento se realizará bajo un diseño de bloques al azar (DBA), con 6 tratamientos y cuatro repeticiones.

3.11.7.4 Unidad experimental

Estará constituida por un total de 5 surcos separados a 1.6 m entre surco y 10 m de largo, dando como resultado un área de 80 m² por unidad experimental.

3.12 RESULTADOS

Los resultados obtenidos fueron puramente indicadores biométricos, como altura, grosor, número de entrenudos y número de tallos por metro lineal, los cuales se presentan a continuación.

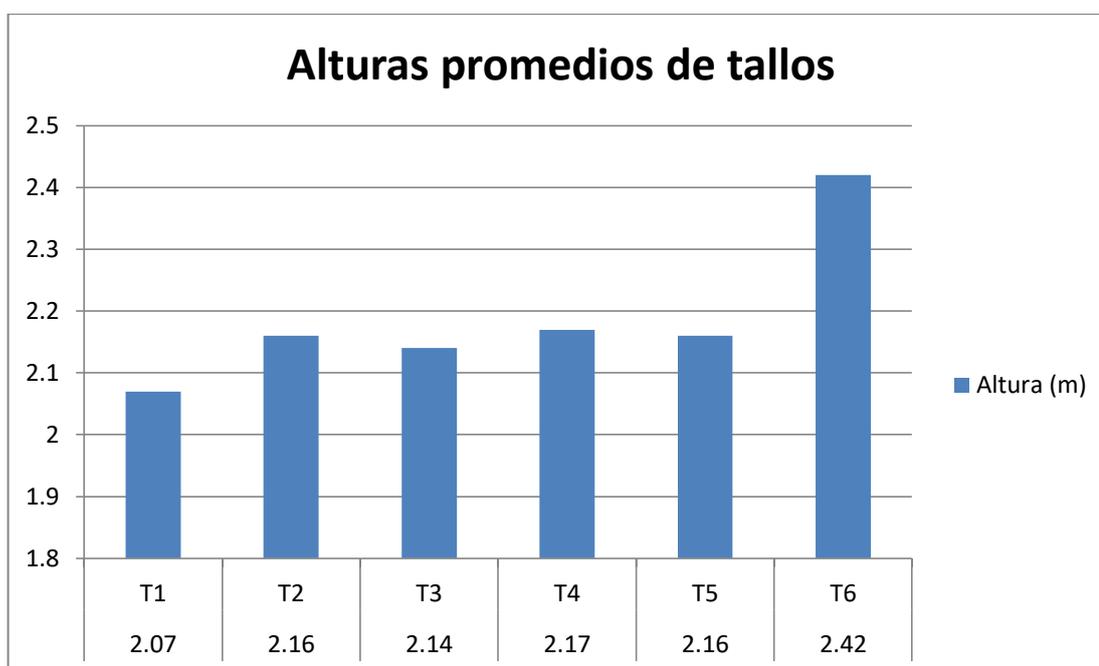
3.12.1 Altura o longitud del tallo

En el cuadro 24 y en la figura 26 se detallan las alturas promedio que provocan los tratamientos en los tallos.

Cuadro 24. Altura promedio de cada tratamiento.

No.	Formula / Producto	Altura (m)
T1	Testigo absoluto	2.07
T2	Mezcla química Fertica®	2.16
T3	Mezcla química Fertica®	2.14
T4	Mezcla física	2.17
T5	Mezcla física	2.16
T6	Mezcla física	2.42

Fuente: elaboración propia, 2015



Fuente: elaboración propia, 2015

Figura 26. Alturas o longitudes promedios por tratamientos.

3.12.2 Grosor o diámetro del tallo

En el cuadro 25 y en las figuras 27, 28, 29 y 30 se detallan los diámetros promedios de los entrenudos 3, 7 y 10 respectivamente, y el diámetro promedio del tallo que provoca cada tratamiento.

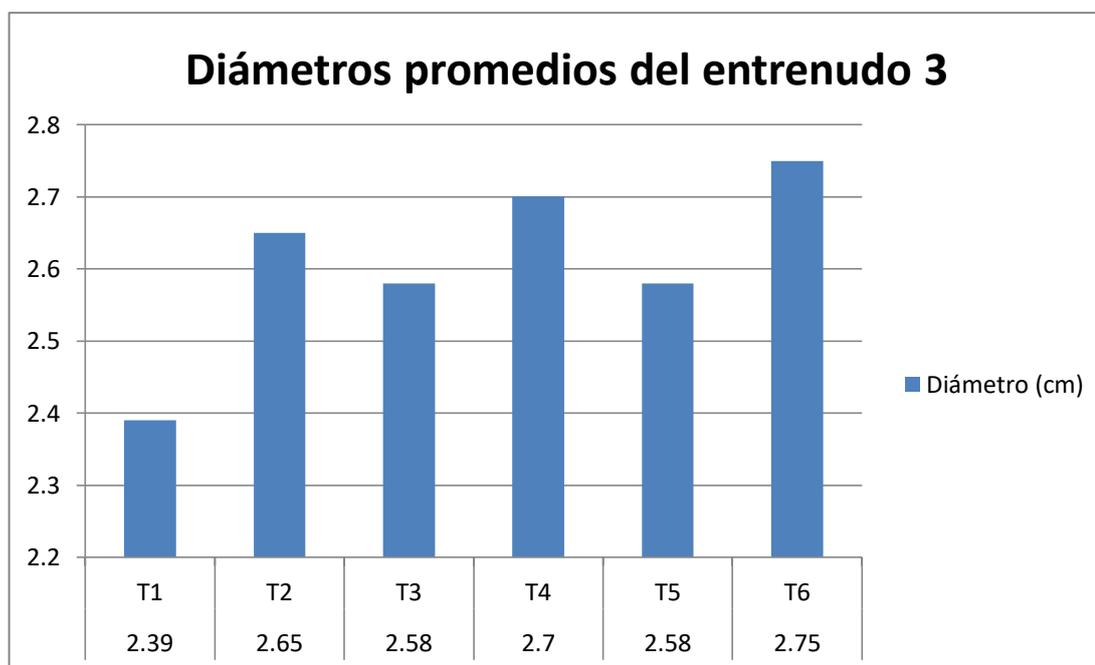
3.12.3 Longitudes de cada entrenudo

En el cuadro 26 se detallan las longitudes promedio de los entrenudos de los tallos que provoca cada tratamiento.

Cuadro 25. Diámetro promedio por entrenudo medido y el diámetro promedio de cada tratamiento.

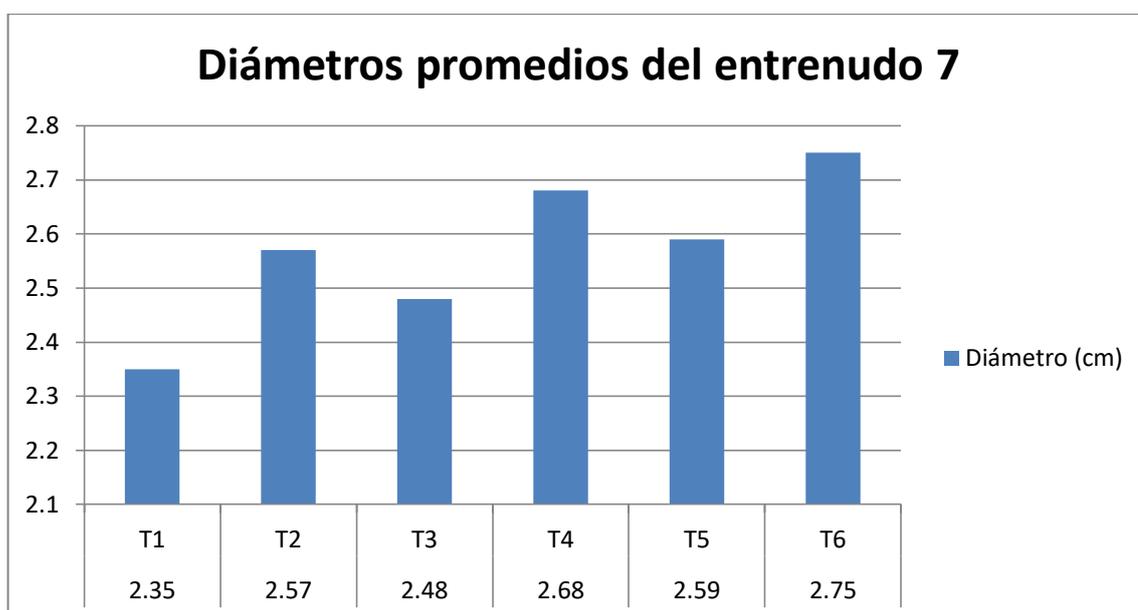
No.	Formula / Producto	Diámetro Entrenudo 3 (cm)	Diámetro Entrenudo 7 (cm)	Diámetro Entrenudo 10 (cm)	Diámetro promedio del tallo (cm)
T1	Testigo absoluto	2.39	2.35	2.31	2.35
T2	Mezcla química Fertica®	2.65	2.57	2.55	2.59
T3	Mezcla química Fertica®	2.58	2.48	2.32	2.46
T4	Mezcla física	2.70	2.68	2.53	2.64
T5	Mezcla física	2.58	2.59	2.51	2.56
T6	Mezcla física	2.75	2.75	2.69	2.73

Fuente: elaboración propia, 2015



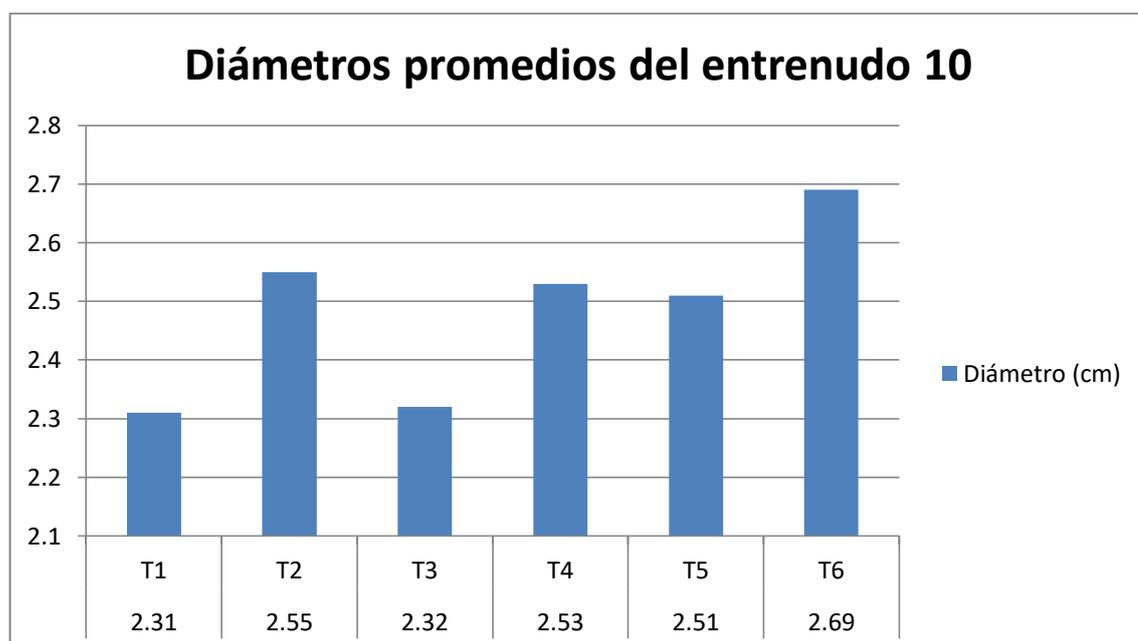
Fuente: elaboración propia, 2015

Figura 27. Grosor promedio de entrenudo 3 por tratamientos.



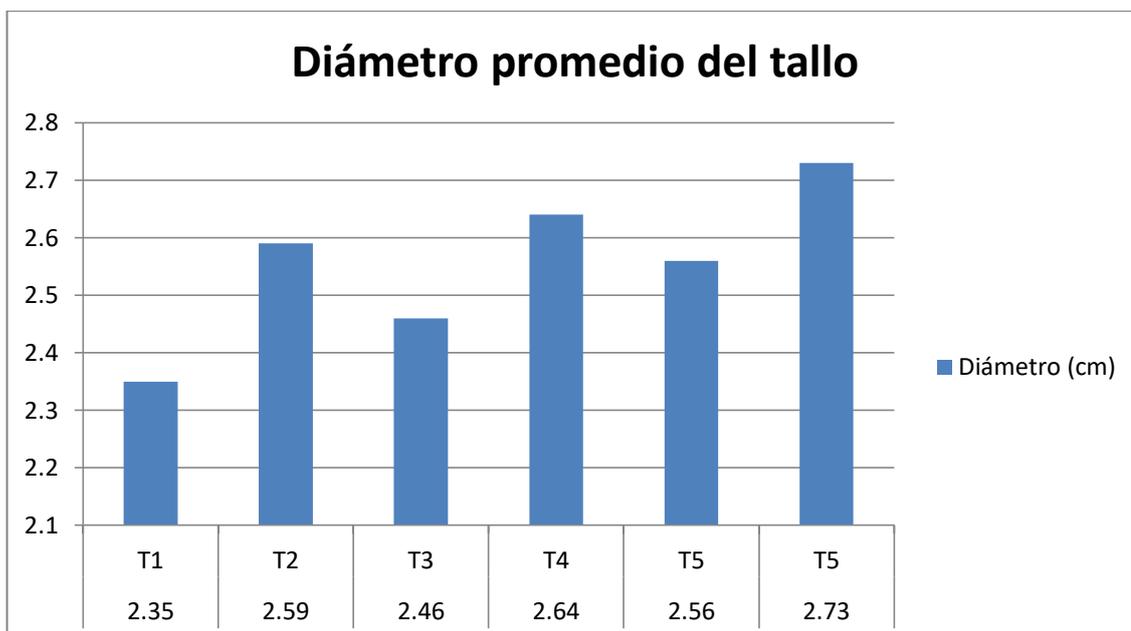
Fuente: elaboración propia, 2015

Figura 28. Grosor promedio de entrenado 7 por tratamientos.



Fuente: elaboración propia, 2015

Figura 29. Grosor promedio de entrenado 10 por tratamientos.



Fuente: elaboración propia, 2015

Figura 30. Grosor promedio del tallo por tratamientos.

Cuadro 26. Longitud promedio en centímetros por entrenado medido de cada tratamiento.

No.	Entre1	Entre2	Entre3	Entre4	Entre5	Entre6	Entre7	Entre8	Entre9	Entre10	Entre11	Entre12	Entre13
T1	6.2	7.70	10.75	12.27	14.02	14.52	14.52	13.58	13.35	13.78	13.24	12.91	12.00
T2	7.00	8.27	11.85	13.40	14.45	14.82	14.97	13.89	13.96	13.78	13.57	14.37	13.10
T3	7.07	8.50	11.05	13.22	15.35	15.70	14.55	14.01	13.95	13.73	14.25	13.02	13.50
T4	7.72	9.55	12.20	13.92	15.30	15.57	14.75	14.67	14.55	14.05	13.93	14.00	14.5
T5	7.10	9.10	11.70	14.05	14.62	15.30	14.65	14.15	13.31	13.65	13.77	14.62	14.00
T6	7.82	11.15	13.37	14.07	15.77	15.85	15.60	14.64	14.73	15.41	14.19	14.46	13.77

Fuente: elaboración propia, 2015

3.13 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

a) Existen diferencias mínimas en crecimiento y desarrollo de la caña producidas entre fertilizantes de mezcla química y fertilizantes de mezcla física. Los fertilizantes de mezcla química Fertica® (T2 y T3) muestran los datos más bajos con un promedio de 2.15m en altura y 2.52m en cuanto al diámetro, este producto aplicado fue el que mostro menos rendimiento en la caña de azúcar y sus dosis fueron de 98kg (T2) y 81kg (T3) por hectárea, siendo el tratamiento 2: Fertica® 81.6 - 81.6 - 103.6, mejor que el tratamiento 3: Fertica® 81.6 - 32.6 - 45. Los fertilizantes de mezcla física (T4, T5 y T6) muestran los datos más altos con un promedio de 2.25m en altura y 2.64m en cuanto al diámetro. Las mezclas físicas de los tratamientos 4 y 5 presentan datos biométricos similares a las mezclas químicas (T2 y T3) y las dosis de aplicación también son similares 80Kg (T4) y 100kg (T5). Siendo estos cuatro tratamientos los que tuvieron las dosis de aplicación por hectárea más bajas y los datos biométricos más bajos, con respecto al tratamiento 6, donde las cantidades de nitrógeno, fosforo y potasio (NPK) son las más altas y la dosis por hectárea es la mayor, motivos por lo cual la mezcla física del tratamiento 6 tiene los datos más altos de la biometría, mostrando un mayor crecimiento y desarrollo de caña de azúcar para estas condiciones.

b) De acuerdo a los resultados obtenidos en los tallos la diferencia de altura promedio entre la mayor y la menor es de 0.35m (35 cm) y la diferencia del diámetro promedio es de 0.38m (38 cm), los datos biométricos obtenidos a los cinco meses de la aplicación determina en cuanto a la altura y el diámetro de la caña de azúcar que el tratamiento 6 (mezcla física 99 - 40 - 80) produce un mejor crecimiento y desarrollo en la caña de azúcar para las condiciones de la finca.

El orden de los datos biométricos del mayor al menor por tratamiento es: mezcla física 99 – 40 – 80 (T6) 120 kg/ha, mezcla física 19 – 27 – 27 (T4) 80 kg/ha, mezcla química Fertica® 81.6 – 81.6 – 103.32 (T2) 98 Kg/ha, mezcla física 21 – 12 – 11

(T5) 100 kg/ha, mezcla química Fertica® 81.6 – 32.6 – 45.3 (T3) 81 Kg/ha y por último el testigo (T1).

Todos los tratamientos aplicados sobresalen y muestran diferencias notables sobre el tratamiento 1 (testigo) donde no se aplicó ningún tipo de producto y donde los datos biométricos muestran las cantidades más bajas de crecimiento y desarrollo, el promedio es de 2.07m en altura y 2.35 en cuanto a diámetro promedio del tallo de la caña de azúcar.

- c)** Estos resultados de biometría nos indican que la aplicación del tratamiento 6 presenta los datos biométricos más altos sobre los demás tratamientos, para las condiciones en la finca; el promedio es de 2.42m de altura y 2.73m de diámetro del tallo. Con respecto a los tratamientos 2, 3, 4, y 5, estos muestran promedios biométricos similares, existiendo diferencias mínimas entre ellos, manteniéndose en un rango de 2.14m a 2.25m en cuanto a altura y en un rango de 2.46m a 2.64m en cuanto al diámetro del tallo. Dejando como último y el peor, el tratamiento 1, el testigo.

3.14 BIBLIOGRAFÍA

1. AgroEs. 2016. Abonos compuestos, complejos y de mezcla – fertilizantes complejos. España. Consultado 28 jul. 2018. Disponible en <http://www.agroes.es/agricultura/abonos/179-abonos-compuestos>
2. FERTURCA, Venezuela. 2016. ¿Qué es una mezcla física?. Venezuela, Fertilizantes del Turbio. Consultado 24 jul. 2018. Disponible en <http://feturca.com.ve/mezcla1.htm>
3. Melgar, M; Meneses, A; Orozco, H; Pérez, O; Espinosa, R. 2014. Cultivo de la caña de azúcar en Guatemala. Guatemala, Artemis Edinter. Consultado 12 feb. 2015. Disponible en <https://es.slideshare.net/mmelgar0506/libro-el-cultivo-de-la-caa-de-azcar-16-febdoc>
4. Solórzano Peraza, PR. 2017. Fertilizantes simples, complejos y mezclas físicas. Venezuela, Minuta Agropecuaria. Consultado 26 jul. 2018. Disponible en <http://www.minutaagropecuaria.com/investigaciones/fertilizantes-simples-complejos-mezclas-fisicas/>
5. Torres Duggan, M. 2008. ¿Qué es la fertilidad del suelo?: Fertilidad física, química y biológica (en línea). España, MADRI+D. Consultado 22 feb. 2015. Disponible en <http://www.madrimasd.org/blogs/universo/2008/01/29/83481>
6. Villareal, D. 2012. Concepto de fertilizantes químicos (en línea). España, Fertilizantes Químicos. Consultado 20 feb. 2015. Disponible en <http://ilovemyplanet123.blogspot.com/2012/11/que-es-un-fertilizante-las-plantas-para.html>

ANEXOS

Figura 31A. Bombas de mochila de 16 litros para la aplicación de los productos



Figura 32A. Recipientes para medir volumen de agua y hacer la mezcla de los productos.



Figura 33A. Medición de la altura del tallo de la caña de azúcar con un metro.



Figura 34A. Medición de diámetros del tallo de la caña de azúcar con un vernier.