

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

ÁREA INTEGRADA



TRABAJO DE GRADUACIÓN REALIZADO EN EL DEPARTAMENTO DE ÁREA
AGRÍCOLA, INGENIO MAGDALENA, LA DEMOCRACIA, ESCUINTLA,
GUATEMALA, C.A.

MARÍA DE LOS ANGELES GONZÁLEZ GUERRA

GUATEMALA, SEPTIEMBRE 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

ÁREA INTEGRADA

TRABAJO DE GRADUACIÓN REALIZADO EN EL DEPARTAMENTO DE ÁREA
AGRÍCOLA, INGENIO MAGDALENA, LA DEMOCRACIA, ESCUINTLA,
GUATEMALA, C.A.

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

POR

MARÍA DE LOS ANGELES GONZÁLEZ GUERRA

EN EL ACTO DE INVESTIDURA COMO
INGENIERA AGRÓNOMA

EN

SISTEMAS DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA

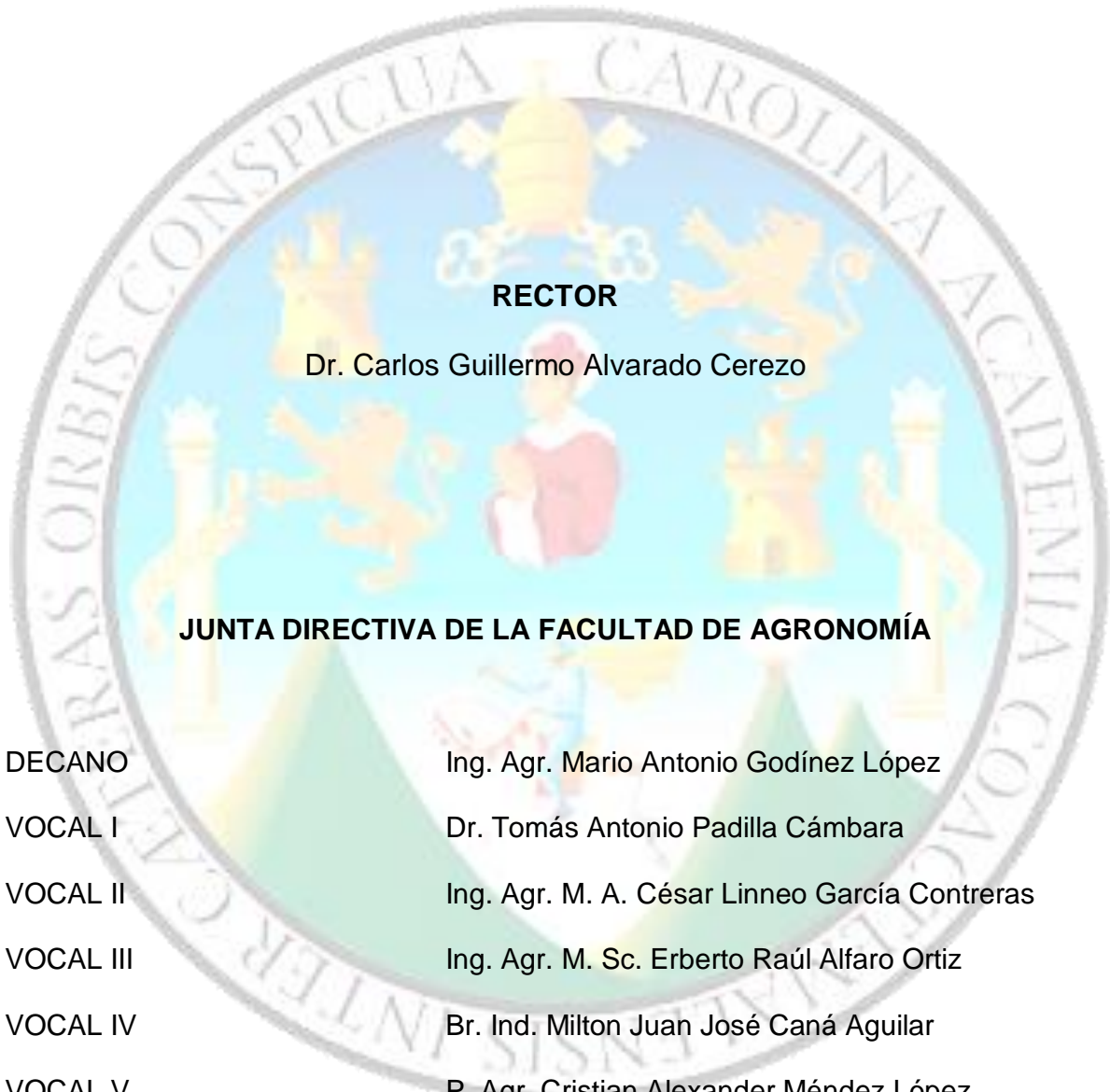
EN EL GRADO ACADÉMICO DE

LICENCIADA

GUATEMALA, SEPTIEMBRE 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE AGRONOMÍA



RECTOR

Dr. Carlos Guillermo Alvarado Cerezo

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA

DECANO	Ing. Agr. Mario Antonio Godínez López
VOCAL I	Dr. Tomás Antonio Padilla Cámara
VOCAL II	Ing. Agr. M. A. César Linneo García Contreras
VOCAL III	Ing. Agr. M. Sc. Erberto Raúl Alfaro Ortiz
VOCAL IV	Br. Ind. Milton Juan José Caná Aguilar
VOCAL V	P. Agr. Cristian Alexander Méndez López
SECRETARIO	Ing. Agr. Juan Alberto Herrera Ardón

GUATEMALA, SEPTIEMBRE 2016

Guatemala, septiembre 2016

Honorable Junta Directiva

Honorable Tribunal Examinador

Facultad de Agronomía

Universidad de San Carlos de Guatemala

Honorables miembros:

De conformidad con las normas establecidas por la Ley Orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a vuestra consideración, el trabajo de graduación realizado en el Departamento de Área Agrícola, Ingenio Magdalena, La Democracia, Escuintla, Guatemala, como requisito previo a optar el título de Ingeniera Agrónoma en Sistemas de Producción Agrícola, en el grado académico de Licenciada.

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

Atentamente,

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

María de los Angeles González Guerra

ACTO QUE DEDICO

A:

DIOS

Por darme la vida, ser mi guía en todo momento, brindarme fuerzas cuando las necesité y por llenarme de muchas bendiciones diarias, gracias por este triunfo.

VIRGEN MARÍA

Por sus intersecciones aún en las causas más difíciles y por darme la esperanza en todo momento.

MIS PADRES

Lic. Francisco Celestino González Coronado y Lic. Azalía Magaly Guerra Ralda de González, gracias por su amor, apoyo incondicional, confianza, esfuerzo en mi formación académica, personal y por enseñarme a ser una persona de bien, gracias por su ejemplo de superación.

MIS ABUELITOS

Ángel José Ramón González Álvarez (Q.E.P.D) gracias por todo ese amor de padre que me diste en vida.

Mirtha Concepción Coronado Vela de González, abuelita gracias por todo su apoyo, amor de madre, cariño y consejos.

Martha Alicia Ralda Zamora de Guerra (Q.E.P.D) gracias por todo tu esfuerzo, tu apoyo, tus desvelos, tus oraciones, guiarme por el buen camino, enseñanzas de vida y los detalles especiales que guardo en la memoria y corazón.

José Buenaventura Guerra Aceituno gracias por tu cariño y apoyo.

MIS HERMAN@S

Ángel José Francisco y Andrea Conchita por demostrarme su aprecio incondicional en todo momento, gracias los aprecio mucho.

MI ESPOSO

Manuel de Jesús Sagastume Martínez, gracias por estar en la buenas y en las malas, por alentarme a siempre seguir adelante, por tu amor, comprensión, paciencia y apoyo incondicional.

MI HIJA

Fátima Sophía Sagastume González, este logro te lo dedico a ti, el sol que ilumina mis días de alegría, por ser mi fuente de inspiración y espero te sirva mi ejemplo, para que alcances las metas que te traces y tus objetivos de tu vida.

MIS TIOS

A todos por su apoyo y darme consejos.

En especial Ángel Francisco González Coronado y Virginia María Gularte de González por todo su cariño y apoyo.

Harold Estuardo Guerra Ralda por todo su cariño y apoyo.

MIS PRIMOS

A todos por su apoyo y cariño compartido en especial a Ángel González Gularte, Harold Guerra, Andrea Lucia Guerra.

MIS SUEGROS

Manuel de Jesús Sagastume López y Miriam Yolanda
Martínez López, por todo su apoyo y cariño.

MIS COMPAÑEROS

Como recuerdo de las experiencias compartidas y muestra de amistad. Especialmente a Katherine De León, Paola Ochoa, Arlin Casildo, Karla Chinchilla, Cristian Nájera y Erick Ramírez, Los aprecio mucho y saben que cuentan conmigo.

MIS AMIGOS

Jorge Mario Cabrera Madrid, Edgar Franco, Waldemar Nufio, Lily López, Álvaro Mendoza, Nidia Pozuelos, Selvin Guzmán, Rene Aguilar, Estuardo González, Alejandra Tuchán, Marco Antonio Castillo, Amalia Monroy, Manuel Castillo, María Magdalena de Castillo, María Paz, Carlos Arteaga, Vilma Arcia, Martha de Velásquez, Algedy Corcuera de Limón, Lupita Culebro por enseñarme que no hace falta un lazo de sangre para poderse llamar hermanos ya que ustedes son mis hermanos, gracias por todo este tiempo convivido; alegrías y tristezas, por su sincera amistad, sus consejos y su apoyo incondicional. Espero que nuestra amistad perdure para toda la vida. Los quiero.

MI FAMILIA EN GENERAL Por todo su cariño, en especial a las familias Ralda Cano, Paz Coronado gracias.

TRABAJO DE GRADUACIÓN QUE DEDICO

A:

GUATEMALA país de la eterna primavera.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA alma mater, fuente de conocimiento y sabiduría.

FACULTAD DE AGRONOMÍA por formarme como profesional y por educarme en el campo de la agronomía.

AGRADECIMIENTOS

A:

Ing. Agr. **Manuel Martínez** por su valiosa asesoría y su colaboración en la elaboración del presente documento.

Ing. Agr. **Luis Montes** por su supervisión profesional y ejecución del presente trabajo de investigación.

Ing. Agr. **Luis Tuchán** por su confianza y su cariño.

Ing. Agr. **Edgar Solares**, Lic. **Aníbal Caballeros**, Lic. **Mario Alejos** por brindarme la oportunidad y el apoyo para realizar mi EPS, en tan prestigiosa empresa.

Ing. Civil **Cesar Vásquez** por el apoyo para realizar mi EPS, en tan prestigiosa empresa.

Departamento de Investigación Agrícola del Ingenio Magdalena, S.A., por el apoyo brindado en la realización de este trabajo.

Los jóvenes trabajadores en general que apoyaron en la realización del presente trabajo para la generación de datos, especialmente Diana Esquivel, Carlos Cermeño, Gary Reynoso, Henry Suquen y Eduardo Posadas.

Todas aquellas personas que de una u otra forma colaboraron en la realización de la presente investigación.

ÍNDICE GENERAL

Contenido	Página
ÍNDICE GENERAL	i
ÍNDICE DE FIGURAS	iv
ÍNDICE DE CUADROS	v
RESUMEN	vi
1. CAPÍTULO I	1
1.1. ANTECEDENTES	2
1.2. OBJETIVOS	3
1.2.1. Objetivo General.....	3
1.2.2. Objetivos Específicos	3
1.3. METODOLOGÍA.....	4
1.3.1. Fase de gabinete.....	4
1.3.1.1. Fase de campo.....	4
1.3.2. Fase de Gabinete final.....	5
1.4. RESULTADOS	6
1.4.1. Localización y descripción del área.....	6
1.4.2. Condiciones Climáticas.....	7
1.4.3. Ecología.....	7
1.4.4. Geología.....	7
1.4.5. Fisiografía.....	8
1.4.6. Hidrografía	8
1.4.7. Uso actual de la Tierra	8
1.4.8. Recurso Humano	10
1.4.9. Recursos Económicos.....	12
1.4.10. Descripción de procesos en el departamento.....	13
1.4.11. Alcances	15
1.5. PRIORIZACIÓN DE LA PROBLEMÁTICA.....	16
1.6. CONCLUSIONES	17
1.7. BIBLIOGRAFÍA.....	18
2. CAPÍTULO II	19
2.1. INTRODUCCIÓN.....	20
2.2. MARCO TEÓRICO.....	22
2.2.1. MARCO CONCEPTUAL.....	22

	Página
2.2.1.1. Historia de la caña de azúcar.....	22
2.2.1.2. Clasificación taxonómica de la caña de azúcar.....	22
2.2.1.3. Fisiología de la maduración en la caña de azúcar.....	23
2.2.1.4. Procesos anatómicos y morfológicos de la maduración en la caña de azúcar.....	24
2.2.1.5. Factores que determinan la dosis del madurante y el volumen de aplicación.....	25
2.2.1.6. Maduración natural.....	32
2.2.1.7. La maduración inducida.....	33
2.2.1.8. Importancia en el uso de madurantes.....	35
2.2.1.9. Variables o parámetros para medición de sacarosa en caña.....	36
2.2.2. MARCO REFERENCIAL.....	38
2.2.2.1. Localización y descripción del área.....	38
2.2.2.2. Condiciones Climáticas.....	38
2.2.2.3. Ecología.....	38
2.2.2.4. Geología.....	39
2.2.2.5. Fisiografía.....	39
2.2.2.6. Hidrografía.....	39
2.2.2.7. Uso actual de la Tierra.....	40
2.2.2.8. Características de los madurantes.....	41
2.3. OBJETIVOS.....	44
2.3.1. Objetivo general.....	44
2.3.2. Objetivos específicos.....	44
2.4. HIPÓTESIS.....	45
2.5. METODOLOGÍA.....	46
2.5.1. Tratamientos y repeticiones.....	46
3.1 Diseño Experimental.....	47
3.1.1 Diseño experimental de bloques al azar.....	47
3.1.2 Modelo estadístico de bloques al azar.....	47
2.5.1.1. Unidad experimental.....	48
2.5.1.2. Variables de respuesta.....	48
2.5.1.3. Manejo del experimento.....	49
2.6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	52
2.6.1. Experiencias en la evaluación del rendimiento de libras de azúcar por tonelada de caña.....	52
2.7. CONCLUSIONES.....	59
2.8. RECOMENDACIONES.....	60

	<i>Página</i>
2.9. BIBLIOGRAFÍA.....	61
2.10. ANEXOS	64
2.10.1. Madurantes.....	64
2.10.2. Simulador aéreo para aplicación de tratamientos en los ensayos.....	67
3. CAPÍTULO III	68
3.1. ANTECEDENTES	69
3.2. DESCRIPCIÓN DEL EFECTO DE NIVEL FREÁTICO Y TIEMPO DE EXPOSICIÓN EN EL DESARROLLO DEL CULTIVO DE CAÑA DE AZÚCAR (<i>Sacharum officinarum</i>).....	71
3.2.1. Objetivo.....	71
3.2.2. Metodología.....	71
3.2.3. Resultados.....	73
3.2.4. Evaluación	77
3.3. EVALUACIÓN DEL EFECTO DE FUNGICIDA SISTÉMICO (TRIADIMENOL) Y MADURANTE QUÍMICO (ETEFON) SOBRE LA PRODUCCIÓN DE BROTES DE CAÑA DE AZÚCAR (<i>Sacharum officinarum</i>) VARIEDAD CG 98-46 EN LA REGIÓN ORIENTE.	78
3.3.1. Objetivos	78
3.3.2. Metodología.....	78
3.3.3. Resultados.....	79
3.3.4. Evaluación	79
3.4. EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA DENSIDAD DE SIEMBRA DE LA VARIEDAD CG 98-46 DE CAÑA DE AZÚCAR (<i>Sacharum officinarum</i>) SOBRE LA PRODUCCIÓN EN TONELADAS DE CAÑA POR HECTÁREA EN LA REGIÓN ORIENTE.....	80
3.4.1. Objetivo.....	80
3.4.2. Metodología.....	80
3.4.3. Resultados.....	81
3.4.4. Evaluación	83
3.5. CONCLUSIONES	84
3.6. RECOMENDACIONES	85
3.7. BIBLIOGRAFÍA.....	86

ÍNDICE DE FIGURAS

Contenido	<i>Página</i>
Figura 1 Ubicación de finca Buganvilia, La Democracia, Escuintla.	6
Figura 2 Uso actual de la tierra de Finca Buganvilia, La Democracia, Escuintla.	9
Figura 3 Organigrama del División y Desarrollo Agrícola.	10
Figura 4 Organigrama del Departamento de Área Agrícola.	12
Figura 5 Objetivo de las investigaciones.	14
Figura 6 Proceso de la generación de nuevas tecnologías aportadas por el Departamento de Investigaciones Agrícolas.	14
Figura 7. Ubicación de la finca Nueve Cerros, Chiquimulilla, Santa Rosa.	40
Figura 8. Croquis de la ubicación de la finca Nueve Cerros, Chiquimulilla, Santa Rosa.	40
Figura 9. Arreglo y aleatorización de los tratamientos en el campo.	48
Figura 10. Diagrama de flujo de la metodología.	50
Figura 11. Libras de azúcar por tonelada de caña.	53
Figura 12. Gráfica de rendimiento en toneladas de caña de azúcar/ha, bajo efecto de diferentes madurantes.	55
Figura 13. Tonelada de caña de azúcar/ha, para diferentes aplicaciones de madurantes.	57
Figura 14. Producción de tallos por metro como efecto de la aplicación de madurantes.	58
Figura 15A. Etiqueta comercial de madurante Curavial Dupont.	64
Figura 16A. Etiqueta comercial de fitoregulador Modduc 250 Ec.	65
Figura 17A. Etiqueta comercial de herbicida Roundup.	66
Figura 18A. Simulador de aspersion aérea en cultivo de caña.	67
Figura 19. Simulador de aspersion aérea en cultivo de caña.	72
Figura 20. Simulador de aspersion aérea en cultivo de caña.	72
Figura 21. Plantas de caña con hipoxia.	73
Figura 22. Erosión hídrica por el drenaje.	75
Figura 23. Erosión en cárcavas por el drenaje.	76
Figura 24. Compactación del suelo a los 45 días.	76
Figura 25. Compactación del suelo a los 90 días.	77
Figura 26. Porcentaje de yemas brotadas de caña de azúcar.	79
Figura 27. Tallos por densidad.	81
Figura 28. Producción en toneladas/ha por densidad.	83
Figura 29. Cosecha de ensayo de densidad de siembra.	83

ÍNDICE DE CUADROS

Contenido	<i>Página</i>
Cuadro 1. Descripción de los tratamientos, dosis y semanas de aplicación.	46
Cuadro 2. Resultados de aplicaciones de madurantes en caña de azúcar.....	53
Cuadro 3. Análisis de varianza para libras/tonelada de caña.....	54
Cuadro 4. Análisis de varianza para toneladas de caña/ha.....	55
Cuadro 5. Análisis de varianza para toneladas de azúcar por hectárea.	56
Cuadro 6. Cantidad de rebrotes (tallos por metro).	58
Cuadro 7. Tratamientos aplicados a caña de azúcar.	78
Cuadro 8. Tratamientos aplicados a caña de azúcar.	79
Cuadro 9. Población por surco de 10 metros.	81
Cuadro 10. Análisis de varianza	82
Cuadro 11. Producción en toneladas por hectárea.	82

EVALUACIÓN DEL EFECTO DEL SULFUROMETURON METIL COMO MADURANTE EN EL CULTIVO DE CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum officinarum* L.) EN LA REGIÓN ORIENTAL DE INGENIO MAGDALENA S.A.

RESUMEN

La agroindustria azucarera ha desarrollado un papel medular en la maduración inducida de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.), por lo cual se debe evaluar constantemente el uso más adecuado de esta técnica.

El Ingenio Magdalena es una empresa agroindustrial dedicada a la investigación. Sus procesos requieren de actividades eficientes para poder obtener una buena producción en el campo y a nivel de fábrica. Desde el año 2009 con la reestructura, el Ingenio Magdalena, S.A. y División y Desarrollo Agrícola inician el establecimiento de proyectos de investigación siendo su principal objetivo el cultivo de la caña de azúcar.

Se realizó el diagnóstico en el Departamento de Área Agrícola del Ingenio Magdalena, que tiene como objetivo principal la contribución de implementación de nuevas tecnologías para la caña de azúcar, por medio de la realización de protocolos de investigaciones y de parcelas experimentales en las 4 regiones (Central Norte, Central Sur, Occidente y Oriente) de la zona cañera de la Costa del Pacífico (Suchitepéquez, Rethaluleu, Escuintla y Santa Rosa). La principal dificultad que se presentaba era la utilización de madurantes en las condiciones

edafoclimáticas de la región Oriente (Santa Rosa), por este razón se decidió darle seguimiento y una alternativa a “el uso de madurantes en la región oriental en caña de azúcar”.

Durante el Ejercicio Profesional supervisado (EPS) la investigación se realizó en área experimental de la finca Nueve Cerros, Chiquimulilla, Santa Rosa del Ingenio Magdalena, donde se evaluó el efecto del madurante herbicida Sulfometuron Methyl (Curavial) aplicado 8,6 y 4 semanas antes de la cosecha, un fitoregulador (Moddus), así como un madurante herbicida (Round up) se aplicaron a las 8 semanas antes de cosechar. Al evaluar la producción por tonelada de caña por hectárea (TCH) obtenidos en los tratamientos utilizados, las productividades altas obtenidas, son con Trinexapac-etil (Moddus) y Sulfurometuron metil (Curavial a 8 semanas) obteniendo una producción promedio de 277.08 y 244.38 de toneladas de caña de azúcar por hectárea, respectivamente.

Se recomienda evaluar el uso de Sulfurometuron metil en sus diferentes formulaciones como madurante en otros materiales comerciales de caña de azúcar, enfocándose los estudios para demostrar que variación de molécula es la más efectiva y viable, tanto técnica como económica.



1. CAPÍTULO I

**Diagnóstico del Departamento de Área Agrícola en la finca
Buganvilia, La Democracia, Escuintla, del Ingenio Magdalena
Sociedad Anónima.**

1.1. ANTECEDENTES

A comienzos de los años 80, Ingenio Magdalena es reubicado en la Finca Bugarvilia (localización actual). Anteriormente, el Ingenio estaba instalado en la Finca Magdalena, de la cual se deriva su nombre, ubicada en el Rodeo, Escuintla. Inicialmente, dedicaba su operación a producción de mieles como materia prima, para fabricación de licor. (5)

El Ingenio Magdalena es una empresa agroindustrial dedicada a la investigación. Sus procesos requieren de actividades eficientes para poder obtener una buena producción en el campo y a nivel de fábrica. Desde el año 2009 con la reestructura, el Ingenio Magdalena, S.A. y División y Desarrollo Agrícola inician el establecimiento de proyectos de investigación siendo su principal objetivo el cultivo de la caña de azúcar (***Saccharum Officinarum L.***). (5)

El objetivo del establecimiento de Departamento de Área Agrícola, es buscar un mejoramiento en la producción de toneladas de caña por hectárea y toneladas de azúcar por hectárea, brindando nuevas tecnologías para una producción sostenida regulando factores como riego, manejo de malezas, madurantes, inhibidores de flor, adecuada nutrición del cultivo en aras de una agricultura de precisión en las labores de cultivo y cosecha. (5)

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo General

1. Conocer la situación del Departamento de Área Agrícola del Ingenio Magdalena, S.A.

1.2.2. Objetivos Específicos

1. Conocer la organización y funcionamiento del Departamento de Área Agrícola.
2. Conocer cada uno de los procesos a seguir para las investigaciones de las diferentes áreas que se implementan en el área de Departamento de Área Agrícola.
3. Realizar investigaciones que contribuyan al mejoramiento en la producción de caña de azúcar dentro del Departamento de Área Agrícola.

1.3. METODOLOGÍA

1.3.1. Fase de gabinete

El Departamento de Área Agrícolas, realiza actividades para Incrementar la producción final Toneladas de Caña de azúcar por Hectárea –TCH– y Toneladas de Azúcar por Hectárea –TAH–, generando nuevas tecnologías, integrando un adecuado control de malezas, fertilización oportuna, manejo de frecuencias y lamina de riego, manejo adecuado de madurantes e inhibidores de flor, proponiendo productos nuevos que generen sostenibilidad y mejora en la producción final.

Se realizó una revisión de literatura o fuentes secundarias de información (folletos informativos, investigaciones realizadas y publicaciones).

1.3.1.1. Fase de campo

Para poder identificar las diferentes la organización y el funcionamiento de las áreas de investigaciones, así como los procesos para la realización de las diferentes investigaciones de dicho departamento, se realizó un recorrido de las regiones donde se encuentra establecidas las unidades experimentales, procurando observar las diferentes actividades que se le realizan al cultivo para contribuir con el uso de nuevas tecnologías. Se procedió a realizar entrevistas, que es un diálogo directo con los trabajadores y técnicos de la finca, para obtener información relacionada con las investigaciones que presenta durante su ciclo el cultivo de caña de azúcar.

Luego de identificar las actividades realizadas, se procedió a definir los principales temas para investigaciones para mejorar la eficiencia de la producción de toneladas de azúcar por hectárea, debido que el año anterior el ingenio Magdalena S. A. presento mayores rendimientos de toneladas de caña de azúcar por hectáreas pero bajo rendimiento para las toneladas de azúcar por hectárea, siendo el principal problema identificado para el cultivo de caña de azúcar.

1.3.2. Fase de Gabinete final

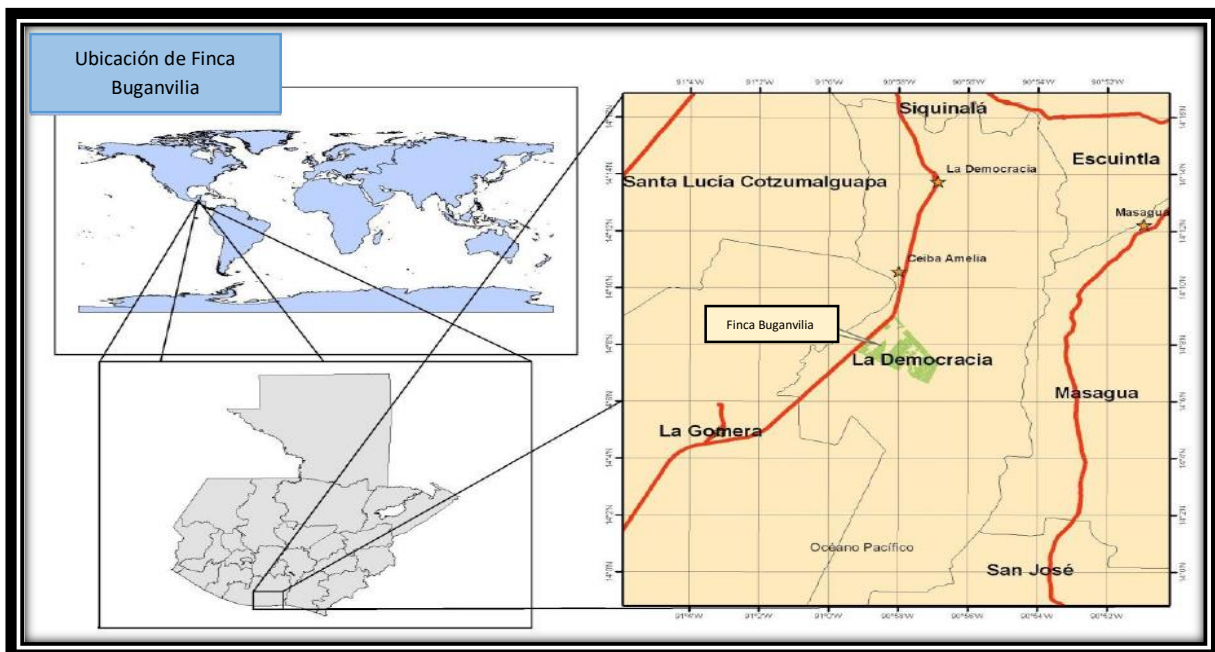
- Ordenación y tabulación de datos: Consistió en el ordenamiento y tabulación de la información obtenida mediante la fase anterior, de donde se obtuvieron las conclusiones y se definieron la problemática y las investigaciones para el cultivo de caña de azúcar.
- Elaboración del informe final: Una vez ordenada la información se procedió a la elaboración del diagnóstico final, expresando toda la información recopilada en las diferentes fases.

El proceso para la elaboración de diagnóstico se ejecutó según cronograma de actividades.

1.4.RESULTADOS

1.4.1. Localización y descripción del área

La Finca Buganvilla tiene una área total de 1,315.77 ha, está ubicada geográficamente en el municipio de la Democracia, al suroeste del departamento de Escuintla a 106 kilómetros de la ciudad capital. Esta finca está ubicada a una altura de 56 msnm, con una latitud Norte $14^{\circ} 07' 12.65''$, longitud Oeste $90^{\circ} 55' 47.48''$. Sus colindancias son al norte con las fincas Santa Marta y Los Amigos, al sur con la finca Santa Ricarda, al oeste con el rio Achiguate y al este con la finca Quien Sabe, ver figura 1. El camino es de terracería y es transitable todo el año.



Fuente: Elaboración propia, 2015.

Figura 1 Ubicación de finca Buganvilla, La Democracia, Escuintla.

1.4.2. Condiciones Climáticas

El clima de la región, según Thornthwaite, presenta las características siguientes: Época seca de diciembre a abril, época húmeda de mayo a noviembre, temperaturas máximas en los meses de marzo y abril, mínimas en diciembre y enero. La finca posee una precipitación media anual de 1700 mm, con una distribución de la lluvia de 165 días durante todo el año, siendo los meses con mayor precipitación de mayo a octubre, y los meses con menor precipitación de noviembre a abril, la temperatura promedio es de 27.01 °C y una humedad relativa anual promedio de 85%. (3,4)

1.4.3. Ecología

La finca Buganvilia se encuentra según Holdridge ubicada dentro de la zona de vida "Bosque muy Húmedo Subtropical Cálido". El clima de la región se caracteriza por tener dos estaciones predominantes: estación seca del mes de diciembre hasta abril y estación lluviosa de mayo a noviembre. (3,4)

1.4.4. Geología

Periodo de aluviones cuaternarios, y rocas sedimentarias. Presenta una textura del suelo de franca gruesa 75% y arenosa 25 %, del área. Según el mapa de suelos del Ingenio Magdalena, los suelos de la finca San Patricio son suelos Entisoles; según la clasificación de la taxonomía de suelos, un Entisol se define como un suelo que no muestra ningún desarrollo definido de perfiles. (3,4)

1.4.5. Fisiografía

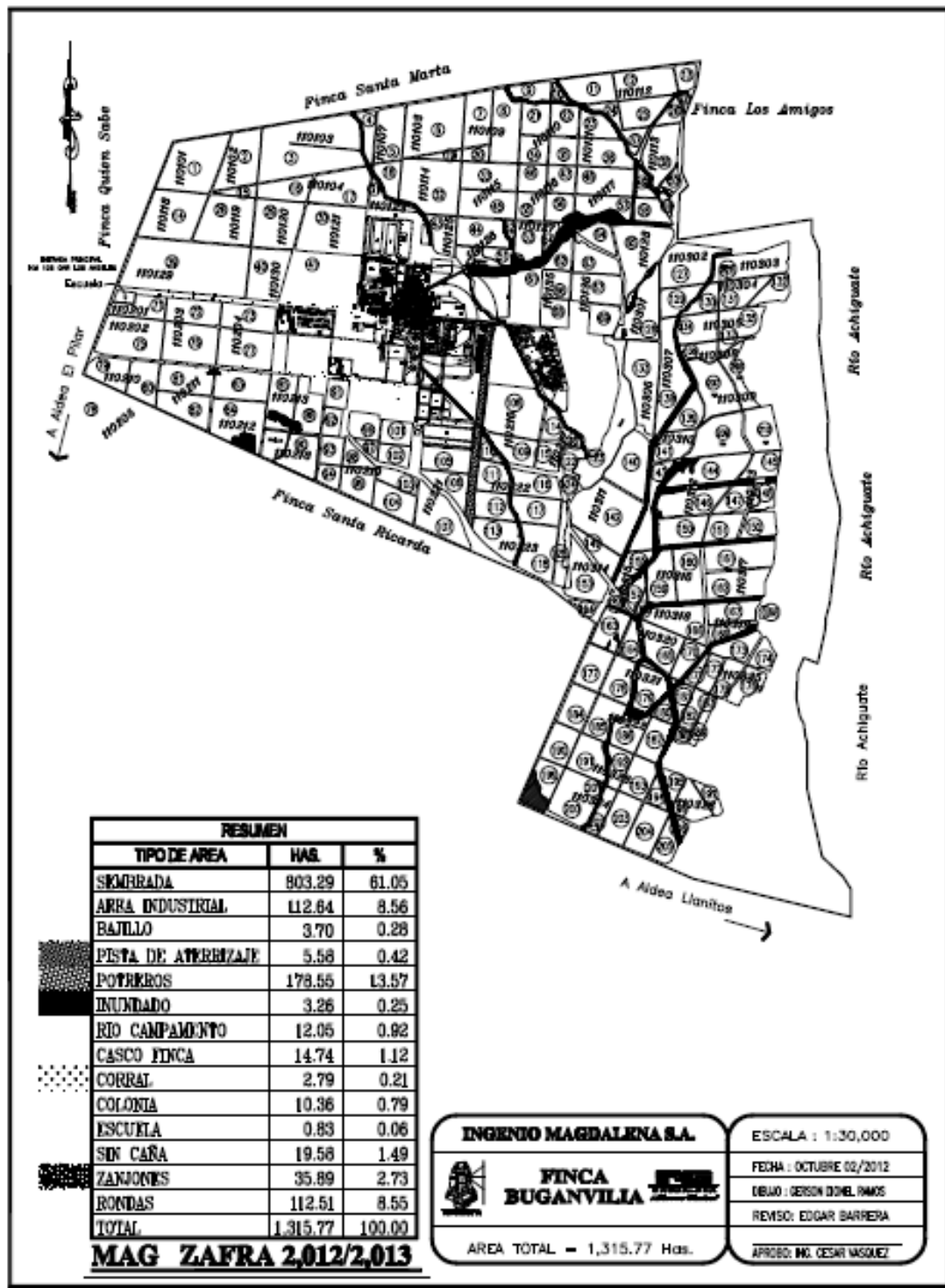
Llanura costera del pacífico, abanico aluvial de los ríos Achíguate y Acomé.
El terreno de la finca presenta un relieve plano, con un 4 % de pendiente. (3,4)

1.4.6. Hidrografía

Vertiente del pacífico, comparte 2 cuencas, área de captación del Río Achíguate, y Área de captación del río Acomé. (3,4)

1.4.7. Uso actual de la Tierra

El uso principal de esta área es 61.05% para cultivar caña de azúcar, un 13.57% tiene potreros, un 8.56% del área industrial donde se encuentran el Ingenio Magdalena, y el 16.82% restante, presenta un pista de aterrizaje, casco de la finca, área sin caña, zanjones, bajillos, suelo inundado, rondas, escuela, colonia, corral y río campamento, ver figura 2. (3,4)

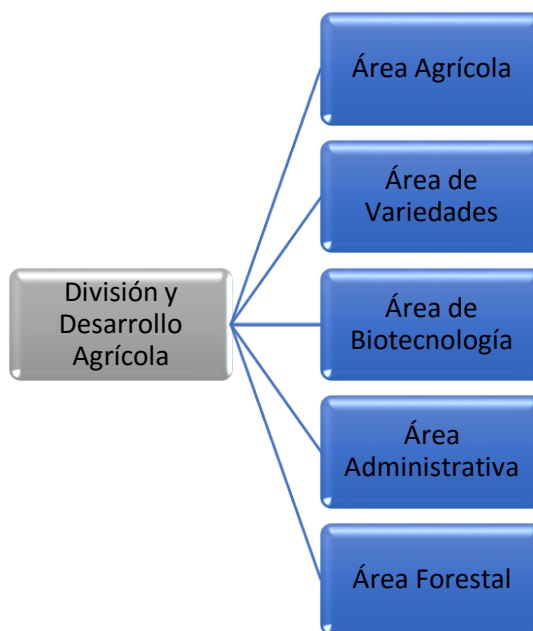


Fuente: Elaboración propia, 2015.

Figura 2 Uso actual de la tierra de Finca Buganvilia, La Democracia, Escuintla.

1.4.8. Recurso Humano

La División de Investigación y Desarrollo Agrícola está formada por 5 departamentos nombrados áreas, ver figura 3:



Fuente: Elaboración propia, 2015.

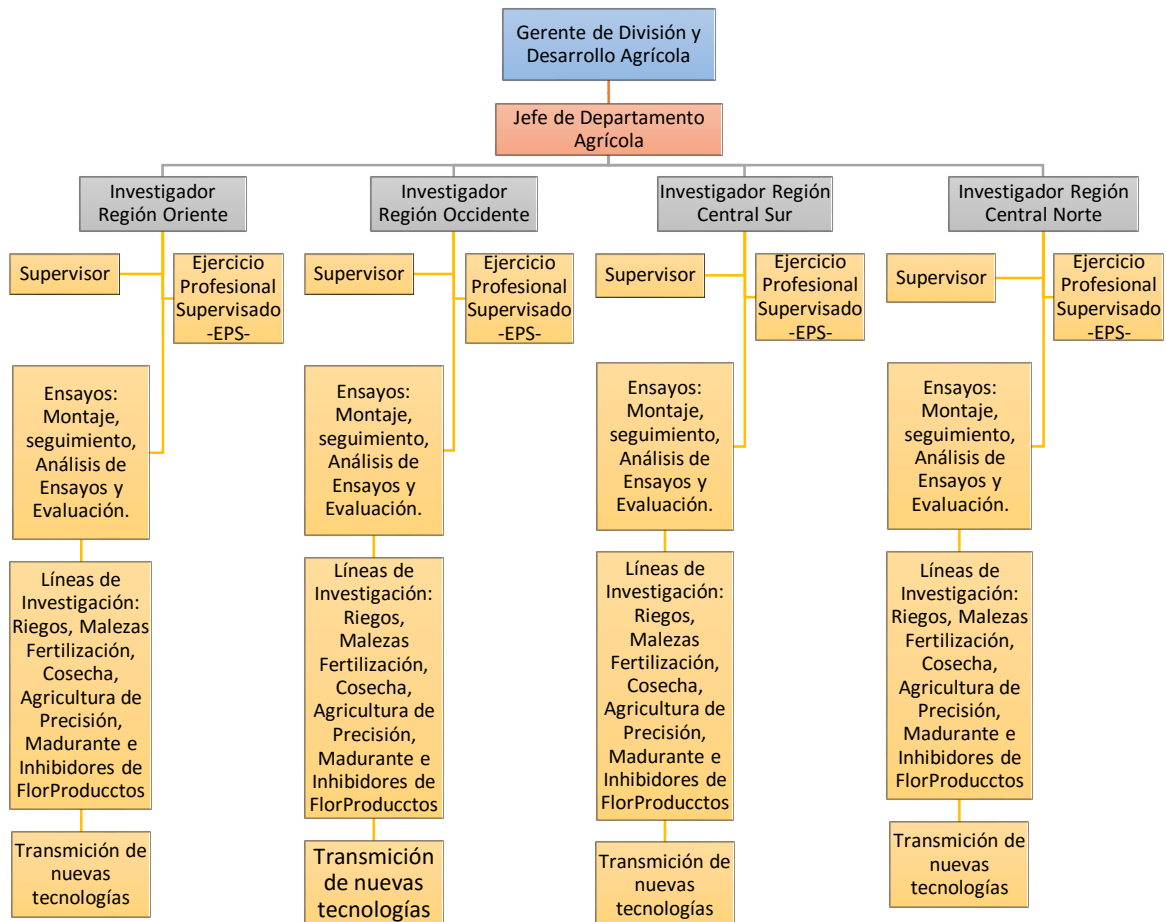
Figura 3 Organigrama del División y Desarrollo Agrícola.

El Departamento de Área Agrícola actualmente cuenta con un jefe, y cuatro regiones, la cuales se detallan a continuación:

- Región Oriente (Santa Rosa)
- Región Occidente (Suchitepéquez y Retalhuleu)
- Región Central Sur (Escuintla)
- Región Central Norte (Escuintla)

Cada región tiene investigador, supervisor y personal de campo para el montaje, evaluación y seguimiento de los ensayos.

- **Jefe del Departamento:** Coteja la información recibida de los investigadores, recibe los informes con análisis, verifica que los investigadores con su equipo de trabajo, supervisor y técnico, desempeñen sus funciones eficientemente, analiza la información para darle seguimiento e impulso a la nuevas tecnologías.
- **Investigador de región:** Busca áreas óptimas para reducir la variabilidad, plantea nuevas investigaciones, verifica que los procesos para el montaje y desarrollo de ensayo se cumplan, analiza los resultados y presenta. Divulgación, seguimiento y apoyo a las nuevas tecnologías con la región correspondiente.
- **Supervisor:** Verifica que el personal técnico realice eficientemente sus funciones, que los procesos se ejecuten eficientemente, que el seguimiento de los ensayos sea llevado adecuadamente, reporta al investigador y lo apoya en la elaboración de protocolos de investigación.
- **Personal técnico:** Trabajadores encargados de realizar las labores de campo de los ensayos entre las cuales se pueden encontrar: siembra, riego, aplicación de fertilizante, madurantes, herbicidas, cosecha entre otras, pueden ser de labores diarias para darle seguimiento a los ensayos o contratados en el período de mayor carga de trabajo que es en el de la zafra ya que se cosechan los ensayos y son medidos con una balanza. Se encuentran distribuidos por región según el supervisor que los dirige, ver figura 4.



Fuente: Elaboración propia, 2015.

Figura 4 Organigrama del Departamento de Área Agrícola.

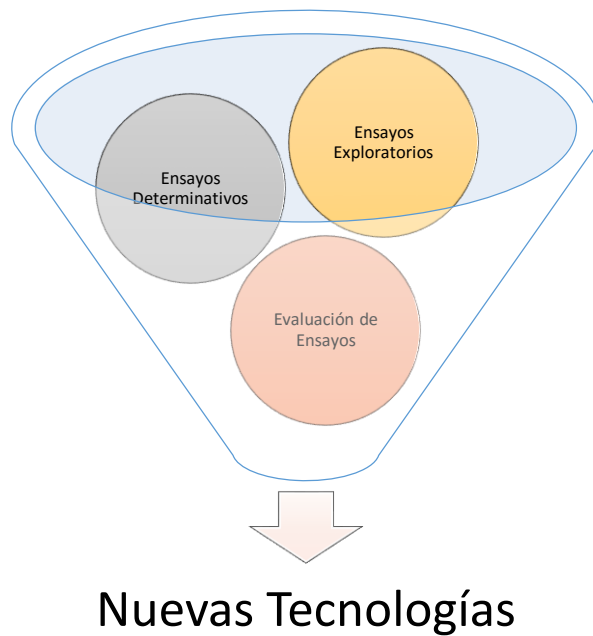
1.4.9. Recursos Económicos

El Departamento de Área Agrícola cuenta con todos los recursos para llevar a cabo todas las investigaciones necesarias.

1.4.10. Descripción de procesos en el departamento

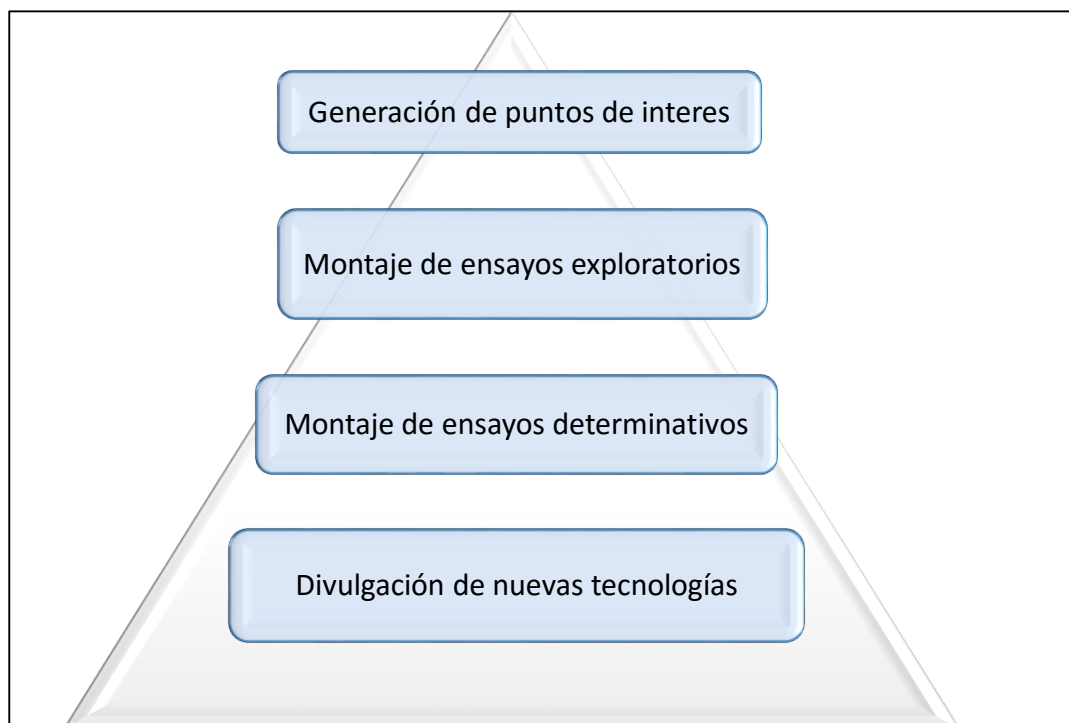
La generación de nuevas tecnologías conlleva varios procesos:

- Determinar los puntos de interés.
- Elaboración de protocolos de las investigaciones.
- Definición de áreas con iguales condiciones tanto variedad, número de cortes, edad de cultivo, unidad de riego, entre otras, dichos factores son validados con imágenes de NDVI.
- Verificación en campo de área seleccionada.
- Establecimiento del ensayo, toma de datos iniciales de ser necesario.
- Manejo agronómico del ensayo, recopilación, evaluación de índices de desarrollo, toma de datos intermedios de ser requeridos por el objetivo del ensayo.
- Cosecha, resultados finales, evaluación y análisis.
- Entrega de informe de resultados y análisis.
- Validación de resultados en diferentes zonas del ingenio.
- Divulgación de nuevas tecnologías.



Fuente: Elaboración propia, 2015.

Figura 5 Objetivo de las investigaciones.



Fuente: Elaboración propia, 2015.

Figura 6 Proceso de la generación de nuevas tecnologías aportadas.

1.4.11. Alcances

El departamento de área agrícola busca generar nuevas tecnologías en cuanto a los programas:

- Riegos
- Malezas
- Fertilizantes
- Cosecha
- Agricultura de Precisión
- Madurantes e inhibidores de flor
- Productos

Dividiendo el ingenio en cuatro zonas, permite la unificación de criterios. Se busca con ello poder satisfacer las necesidades por zona considerando la variabilidad existente en las condiciones edafoclimáticas. Estos factores permiten la evaluación y validación de cada propuesta tecnológica en las diferentes administraciones que comprende el ingenio Magdalena.

1.5. PRIORIZACIÓN DE LA PROBLEMÁTICA

Entre la gran diversidad de oportunidades que presenta este departamento de investigaciones agrícola, la principal es la contribución de la implementación de nuevas tecnologías para la caña de azúcar, por medio de la realización de protocolos de investigaciones y de parcelas experimentales en diferentes regiones de la zona cañera la costa del pacífico y la principal dificultad que se tiene es la utilización de madurantes en las condiciones edafoclimáticas de la región Oriente del país, se decidió darle seguimiento y una alternativa a “el uso de madurantes en la región oriental en caña de azúcar”, además se realizarán tres servicios, los cuales son, Determinación de la densidad de siembra óptima para la variedad CG 98-46 en la finca La Conquista, cuantificación del incremento de producción y rendimiento de la caña de azúcar y evaluación la respuesta que tienen las aplicaciones de Bayfidan y Prep a la siembra, sobre la producción del cultivo de caña de azúcar.

1.6. CONCLUSIONES

1. El Departamento de Área Agrícola, se encuentra ubicada en Finca Buganvilia del Ingenio Magdalena en el municipio de La Democracia, Escuintla, está conformado por un jefe, 4 investigadores (Región Oriente, Occidente, Central Sur, Central Norte), 4 supervisores y personal técnico.
2. Para el establecimiento de las investigaciones de las diferentes áreas y regiones del Departamento de Área Agrícola tiene el siguiente procedimiento, generación de puntos de interés, montaje de ensayos exploratorios, montaje de ensayos determinativo y divulgación de nuevas tecnologías.
3. La investigación que se plantea para aportar y contribuir al mejoramiento en toneladas de azúcar por hectárea dentro del Departamento de Área Agrícola, es “el uso de madurantes en la región oriental en caña de azúcar”

1.7. BIBLIOGRAFIA

1. Archila Árias, J; Villegas T, F. 2003. Madurantes en caña de azúcar: manual de procedimientos y normas para su aplicación. Cali, Colombia, CENICAÑA. 66 p. (Serie Técnica no. 32).
2. ASAZGUA (Asociación de Azucareros de Guatemala, GT). 2015. Economía (en línea). Guatemala. Consultado 20 ago 2015. Disponible en <http://www.azucar.com.gt/economia3.html>
3. Cid, J Del. 2015. Ubicación de fincas del Ingenio Magdalena (correo electrónico). Escuintla, Guatemala, Ingenio Magdalena, SIG.
4. IGN (Instituto Geográfico Nacional, GT). 2000. Diccionario geográfico de Guatemala. Guatemala. 4 t.
5. IMSA (Ingenio Magdalena, GT) 2014. Historia del Ingenio Magdalena, S. A. (en línea). Guatemala. Consultado 26 set 2015. Disponible en: http://iasmag.imsa.com.gt/sitio/#/page_historia



2. CAPÍTULO II

EVALUACIÓN DEL EFECTO DEL SULFUROMETURON METIL COMO MADURANTE EN EL CULTIVO DE CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum officinarum* L.) EN LA REGIÓN ORIENTAL DE INGENIO MAGDALENA S. A.

2.1. INTRODUCCIÓN

La Agroindustria del azúcar de Guatemala se ubica principalmente en la región sur del país, en la costa del Océano Pacífico, está constituida por doce ingenios que se agrupan en cinco organizaciones. Se tiene una área cultivada de 235,000 hectáreas de caña de azúcar y en la zafra 2013/2014 se obtuvo una producción de 2,806,578 toneladas métricas de azúcar. Se ubica en el tercer lugar a nivel mundial en productividad de azúcar y se ha convertido en una de las actividades más importantes de la economía del país, representa alrededor del 3% del PIB nacional, genera 425,000 empleos directos e indirectos, de ellos 32,000 corresponden a cortadores de caña. Además en los últimos años también realizan cogeneración de energía eléctrica con la utilización de bagazo para la generación del 25% de energía eléctrica en época de zafra dentro del Sistema Nacional Interconectado –SIN- que representa 408 MW de potencia instalada y en solo tres años se han convertido en el principal productor de alcohol originario en la región centroamericana, sin disminuir su producción de azúcar (3).

En Guatemala inicia la cosecha de caña de azúcar en noviembre la que se prolonga hasta finales de marzo o comienzos de abril coincidiendo con el fin de la época de invierno. Esto provoca dificultades al inicio de esta actividad con respecto a la producción de azúcar, debido a que se llevan a molienda cañas con concentraciones bajas de sacarosa por la humedad residual del suelo, dando como resultado la obtención de bajos rendimientos de libras de azúcar/tonelada de caña, para los meses de noviembre y diciembre. En enero la concentración de sacarosa en el tallo tiende a incrementarse, a un ritmo lento, alcanzando la máxima concentración natural a mediados de enero hasta los primeros días de febrero, posteriormente a esta estos meses, la disminución de sacarosa en caña es evidente, esencialmente por la formación de flor por parte de la mayoría de variedades. Para que la agroindustria obtenga grandes beneficios ha tenido la necesidad de hacer uso de varias técnicas que ayude a elevar los rendimientos de caña. Pero de todos los aspectos desarrollados, sin duda alguna el papel medular lo ha jugado la maduración inducida de la caña de azúcar.

Por lo tanto, para alcanzar la mayor productividad de producción de azúcar, se tiene que realizar un manejo agronómico con los más altos estándares de calidad para el cultivo de caña y su procesamiento. La maduración es una etapa fisiológica de la caña de azúcar de mucha importancia porque es cuando concentra la mayor cantidad de sacarosa, para la producción de

azúcar y cuando las condiciones naturales no son favorables para la maduración de la caña de azúcar es necesario inducirla, actualmente solo existen dos métodos para contrarrestar este fenómeno uno es varietal y el otro utilizando madurantes de acción herbicida u hormonas.

En esta investigación se evaluó el efecto del madurante herbicida Sulfometuron Methyl (Curavial) aplicado 8,6 y 4 semanas antes de la cosecha de la investigación, un fitoregulador (Moddus), así como un madurante herbicida (Round up) se aplicaron a las 8 semanas antes de cosechar y como comparador se utilizó un testigo absoluto. Con la aplicación de madurantes es posible incrementar hasta en un 25% la producción de azúcar, pero para que esto ocurra es necesario que el producto disminuya el ritmo de crecimiento de planta, de tal forma que en el tallo se almacena una mayor concentración de sacarosa. Entre el momento de la aplicación y 6 a 12 semanas después, las plantas que reciben dosis adecuadas pueden presentar un crecimiento entre 10 y 25 cm menor al que tendrían sino hubieran recibido dicha aplicación. (6).

La investigación se realizó con el propósito de obtener mejores rendimientos en las industrias cañeras utilizando productos madurantes, ayudando al incremento de la sacarosa y obteniendo mayor porcentaje de rebrotes de caña de azúcar para el siguiente periodo de producción.

2.2. MARCO TEÓRICO

2.2.1. MARCO CONCEPTUAL

2.2.1.1. Historia de la caña de azúcar

Se considera que la caña su origen es de las islas Polinesia, y no ha faltado quien afirme que es de América ya que se encontraba desde mucho antes de la llegada de Cristóbal Colón, por lo que se le atribuye haberla traído a éste continente, sin embargo existen pruebas evidentes de que en Guatemala existían cañas dulces, siendo cultivadas por los nativos que habitaron en las riberas de Ixcán y Lacantún (afluentes del Usumacinta), región localizada en Chiapas, norte de Huehuetenango, en el Quiche, y al sudeste de Petén; Otros opinan que su origen lo tuvo en la India, en la desembocadura del río Ganges, dando del nombre de Guara a la región y a la ciudad el nombre de Guara que quiere decir azúcar (21).

2.2.1.2. Clasificación taxonómica de la caña de azúcar

Según el sistema filogenético de clasificación desarrollado por Arthur Cronquist (7), la sistemática de la caña es la siguiente:

REINO:	Plantae
PHYLUM:	Tracheophyta
SUBPHYLUM:	Pteropsida
DIVISIÓN:	Magnoliophyta
CLASE:	Liliopsida
SUBCLASE:	Commelinidae
ORDEN:	Cyperales
FAMILIA:	Poaceae
TRIBU:	Andropogoneae
GENERO:	Saccharum
ESPECIE:	<i>Saccharum officinarum</i> L.

La caña de azúcar como cultivo se originó como *S. Officinarum*, posteriormente por trabajos de mejoramiento se han utilizado híbridos interespecíficos de *S. officinarum* como lo son *S. sinense*, *S. barberi*, *S. edulce*, *S. spontaneum*, *S. robusstum* (11).

2.2.1.3. Fisiología de la maduración en la caña de azúcar

La planta de caña de azúcar requiere de un descenso de la temperatura ambiental que haga más amplio el rango entre la máxima temperatura diurna y la mínima nocturna, así como una reducción drástica de la humedad del suelo con el fin de reducir su ritmo de crecimiento e inducirla a transformar en sucrosa (o sacarosa) los azúcares reductores que utiliza para proveerse de energía necesaria para su crecimiento y desarrollo (24).

Por otro lado, el ciclo vegetativo de la caña de azúcar comprende tres etapas que, con ligera variante de acuerdo con la variedad, se definen así: la primera corresponde al desarrollo de las cepas que va desde la germinación o brotación hasta que el campo cierra (5 a 6 meses de edad) y que es la etapa de mayor requerimiento de agua, debe estar el contenido de humedad en la planta arriba del 85 %; la segunda comprende la etapa de formación de sacarosa y se extiende del final de la primera hasta el inicio de la maduración, período en que la humedad del tallo debe ser 78-80 %; la tercera etapa es la maduración propiamente, la que se inicia aproximadamente a los 9 meses de edad, necesitándose entre un 73 y un 75% de humedad en la planta para obtener una buena maduración (24).

Fisiológicamente, la maduración es un proceso metabólico en el cual la planta cesa su tasa de crecimiento y desarrollo vegetativo y empieza a acumular energía en forma de sacarosa en los tejidos parenquimatosos del culmo o tallo aéreo (24).

2.2.1.4. Procesos anatómicos y morfológicos de la maduración en la caña de azúcar

Los azúcares formados en la fotosíntesis como son, en su orden, glucosa y fructosa, sufren un proceso de síntesis en el cloroplasto, para convertirse en sacarosa después de una serie de reacciones químicas catalizadas por enzimas presentes en su mayoría en el estroma de este organelo celular.

La sacarosa se transloca de las hojas hacia el tallo y las raíces, a través del tejido de conducción denominado floema. Ya en el tallo, sigue un orden de acumulación en las células parenquimatosas o de distribución hacia las zonas de crecimiento en donde es desdoblada, fundamentalmente bajo la acción de la invertasa ácida, en los reductores, glucosa y fructosa que son los azúcares que pueden ingresar al proceso de respiración celular en donde se degradan para producir la energía necesaria para el crecimiento y desarrollo de las células jóvenes (8, 24, 25).

Una vez ingresada al tejido parenquimatoso del tallo, la sacarosa, bajo la acción de la invertasa neutra, se desdobla en glucosa y fructosa, pero inmediatamente, por la acción de un proceso de fosforilación, da origen de nuevo a la sacarosa que se almacena en las células del mencionado tejido. El almacenamiento de sacarosa en el tallo sigue un patrón basipéto, es decir el azúcar se mueve hacia abajo y se va acumulando en los entrenudos inferiores, disminuyendo su concentración a medida que se asciende hacia el tercio superior del mismo.

La concentración de sacarosa difiere de un tipo de tejido a otro, según sea éste, tejido joven o tejido maduro, estando influenciada por la presencia de diferentes invertasas (enzimas) y por los requerimientos de energía para el crecimiento. En los tejidos jóvenes, en donde la expansión rápida de las células es común, las exigencias de grandes montos de energía requieren que la sacarosa sea hidrolizada rápidamente por la acción de la invertasa ácida produciendo glucosa y fructosa que, a través del proceso de respiración celular proporcionan la energía necesaria para el proceso de crecimiento. Por otro lado, en los tejidos maduros, en donde el crecimiento y desarrollo

celular es mínimo, se reduce drásticamente la concentración de la invertasa ácida, predominando más bien la invertasa neutra, que aparentemente se localiza en el citoplasma, y que promueve la acumulación de la sacarosa en la vacuola (8, 24, 25).

2.2.1.5. Factores que determinan la dosis del madurante y el volumen de aplicación

Con la aplicación de madurantes en caña de azúcar es posible, obtener el máximo nivel de sacarosa en los tallos, evitar reducciones drásticas en el contenido de sacarosa debido a cambios del clima, obtener una ganancia económica adicional en un período relativamente corto y sin afectar la producción de caña y reducir el período vegetativo del cultivo cuando sea necesario. (8, 24).

A continuación se exponen las características del cultivo y las condiciones ambientales principales que se deben conocer para determinar la dosis y el volumen de aplicación de madurantes en caña de azúcar. (8, 24, 25)

A. Factores naturales y agronómicos que afectan la maduración de la caña de azúcar

La maduración natural en las áreas cañeras de Centro América y el Caribe sigue un comportamiento que ha hecho adecuar el período de cosecha, denominado zafra, buscando cortar la caña en los momentos de máxima concentración de sacarosa. De esta manera, en la primera etapa de la zafra, noviembre a enero, los niveles de sacarosa son bajos, debido principalmente a la alta humedad residual en el suelo. Luego, en la segunda etapa, febrero a marzo, se obtienen los niveles máximos de sacarosa, cuando la humedad del suelo permite la maduración óptima de la caña. (8, 24, 25).

Finalmente, en la tercera etapa, abril a junio, se presenta un descenso rápido en la concentración del azúcar debido a la reanudación de las lluvias en estos meses del año. (8, 24, 25).

B. Factores naturales que afectan la maduración de la caña de azúcar

Entre los principales factores del clima que condicionan la maduración de la caña de azúcar se encuentran: la precipitación pluvial, la temperatura y la luminosidad, por ello deben analizarse separadamente cada uno de estos factores. (25).

a. Precipitación pluvial

La disponibilidad de agua para la caña de azúcar debe ser adecuada en la etapa de desarrollo, de tal manera que permita la absorción, transporte y asimilación de nutrientes, necesarios para el normal desarrollo y crecimiento vegetativo de la planta, pero durante el inicio y el desarrollo de la maduración en sí, dicha disponibilidad debe ser ampliamente reducida. Cuando la precipitación disminuye y por lo tanto la disponibilidad de agua en el suelo se reduce drásticamente, la planta decrece su ritmo de desarrollo celular, y consecuentemente su crecimiento, lo que conduce a una acumulación de sacarosa principalmente en el tercio superior, fenómeno que es ampliamente conocido como maduración. En ambientes dotados naturalmente, tal el caso de Hawai, donde los niveles de humedad del suelo pueden manejarse mediante prácticas agronómicas, el cultivo puede crecerse y “madurarse” manejando la disponibilidad de agua en el suelo. Si se humedece adecuadamente la capa arable del suelo, mediante riego por ejemplo, el cultivo crece vegetativamente acumulando poca sacarosa en los tallos, mientras que si se reduce el contenido de humedad, por debajo del nivel de capacidad de campo por ejemplo, se produce la maduración de los tallos ya que aumenta considerablemente su concentración de sacarosa. (1, 8, 25).

b. Temperatura

La temperatura es probablemente el factor climático de mayor importancia en la maduración de la caña de azúcar, lo que es compartido por distintos investigadores, al decir que los descensos de temperatura en un período prolongado de tiempo, aun con un suministro abundante de nitrógeno y humedad, puede retardar el crecimiento y aumentar el contenido de sacarosa en los tallos. Ello se atribuye al efecto directamente proporcional que ejercen las temperaturas sobre la absorción de agua y nutrientes por la planta. (1, 8, 25).

El mayor efecto de la temperatura se produce cuando se conjuga con períodos de sequía y una oscilación térmica entre 11-12 grados centígrados, condición que favorece la acumulación de sacarosa en el tallo, por lo tanto incrementando el rendimiento de azúcar. (1, 8, 25).

c. Luminosidad

La luz como principal fuente de energía para los cultivos, en este caso caña de azúcar, juega un papel importante en la producción y almacenamiento de sacarosa en las hojas y en los tallos, respectivamente. En la producción, porque siendo la caña de azúcar una planta fotosintéticamente C4, la hace, por un lado, muy eficiente en la absorción de energía lumínica en los cloroplastos, pero por el otro, también muy exigente en los niveles de energía radiante que deben estar alcanzándose en los tejidos foliares, para poder ser eficiente en la formación de biomasa que agrónicamente se traduce en tonelaje de caña y finalmente azúcar (1, 8, 25).

C. Factores agronómicos que afectan la maduración de la caña de azúcar

En la mayoría de países tropicales la caña de azúcar es plantada bajo la programación de ser cosechada durante la estación seca. Durante este período, el

sistema radicular domina el crecimiento de la planta por lo que los niveles de azúcar en la caña se incrementarán, a medida que el contenido de humedad decrece en la capa arable del suelo. Contrariamente, durante la estación lluviosa, hay un rápido crecimiento del ápice del tallo. Durante este período de cuatro a cinco meses, el crecimiento apical del tallo domina la planta y no el crecimiento radicular, por lo que los niveles de azúcar en la caña son bajos. (1, 8, 25).

Un campo determinado puede mostrar muy poca respuesta a la aplicación de madurante, si ya se encuentra en un estado muy avanzado de maduración promovido por la edad, la disminución de humedad en el suelo, el descenso de la temperatura, carencia de nitrógeno, etc. Las plantaciones no responderán adecuadamente si han sido sobre-fertilizadas con nitrógeno (especialmente tarde en el ciclo), si la humedad del suelo permanece alta, si la temperatura permanece cálida, si el cultivo es plantilla o si existe una combinación de estos factores. Es por ello, que los cañicultores deben seleccionar campos en los cuales se pueda maximizar el valor económico de la aplicación de madurante, lo que incluye la selección de lotes con suficiente “tonelaje” disponible para construir y almacenar azúcar. (1, 8, 25).

A veces puede suceder que ciertos cultivares no respondan a los madurantes, pero otros si lo hagan rápidamente, ocasionando que el mejoramiento en la calidad del jugo pueda ser contrarrestado por una reducción en el tonelaje al momento de la cosecha. Aquí es donde se hace necesaria la investigación de campo, ya que solamente la experiencia y las pruebas nos proporcionarán la información sobre la interacción madurante vs. variedad, especialmente en lo relacionado a características del producto usado como madurante tales como modo de acción, dosis aplicadas, época de aplicación, período óptimo post-aplicación y efectos en la soca subsiguiente. (1, 8, 25).

a. Variedad

La variedad es probablemente el factor prioritario a tomar en cuenta para el éxito de la práctica. Ciertas variedades simplemente no responderán al madurante, o lo harán solamente después de que cierto nivel de madurez ha sido alcanzado. En resumen, los madurantes no actuarán a menos que la variedad se encuentre fisiológicamente lista para iniciar su rápido proceso de acumulación de azúcar. (1, 5, 6, 24, 25).

Los efectos de los madurantes son diferentes en las distintas variedades de caña. Al aplicar dosis iguales de un madurante del tipo reguladores de crecimiento a un grupo de variedades de la misma edad que han crecido en condiciones de clima, suelo y manejo similares es posible que algunas variedades presenten irritación severa del follaje, lo cual afecta considerablemente su crecimiento. En estos casos se deduce que las variedades afectadas son muy susceptibles al madurante y que las dosis aplicadas son altas. (1, 5, 6, 24, 25).

Por su parte, existen variedades que no presentan efecto alguno por la aplicación de madurante, ni en la coloración del follaje ni en el contenido de sacarosa, se identifican como variedades resistentes al madurante y se deduce que la dosis aplicada no fue suficiente. (1, 5, 6, 24, 25).

En las variedades que presentan susceptibilidad o resistencia moderada al madurante, cuando la dosis aplicada es adecuada o cercana a la óptima se observa un amarillamiento ligero del follaje y una desaceleración en el crecimiento de los tallos que es suficiente para incrementar el nivel de sacarosa sin afectar la producción de caña. (1, 5, 6, 24, 25).

Los trabajos de investigación realizados por el Centro Guatemalteco de la Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar (CENGICAÑA), y la continua observación del comportamiento de variedades de caña en aplicaciones comerciales en los ingenios han permitido clasificar algunas de ellas de acuerdo con la susceptibilidad o resistencia al madurante. Así, por ejemplo, la variedad Mex 68P23,

como la variedad CP- 721210 son muy susceptible, lo que indica que con dosis bajas y bien manejadas del producto es posible alcanzar incrementos en su contenido de sacarosa al momento de la cosecha. Las variedades CP- 722086, CP-731547 y B-37172, han sido identificadas como muy resistentes y requieren dosis altas de madurante. Las variedades CP-721312 y líneas de PR presentan una susceptibilidad moderada mientras que las variedades Mex 69-290, Línea PGM y Línea SP son moderadamente resistentes. (1, 5, 6, 24, 25).

La aplicación de un madurante del grupo reguladores de crecimiento ocasiona una condición de estrés en la planta y como consecuencia se disminuye la tasa de crecimiento de los tallos. Si lo anterior coincide con un estrés debido a un déficit severo de humedad entonces la producción de caña puede ser afectada en forma negativa. De acuerdo con lo anterior, cuando se prevé la presencia de un período seco entre la aplicación del madurante y la cosecha de la caña, la dosis establecida en función del estado de desarrollo del cultivo se debe disminuir entre 13% y 23% en relación con la dosis recomendada si ese período coincidiera con una época de lluvias. (1, 5, 6, 24, 25).

b. Fertilización

La mayoría de campos cultivados con caña de azúcar tienen niveles adecuados de fertilizante para maximizar la producción de fotosintatos, pero ha sido olvidado que, probablemente, lo más importante en la producción de azúcar por unidad de área, es obtener el máximo movimiento de azúcar fuera de cada hoja, y no tanto la producción total de fotosintatos. El movimiento de azúcar fuera de cada hoja puede ser un tanto variable, siendo afectado por el monto de nitrógeno en la planta. Este movimiento de azúcar fuera de las hojas es el factor más grande, y prácticamente único, que determina el total de azúcar por unidad de área. Por ello, muchos autores consideran que la fertilización, principalmente nitrogenada, debe reducirse severamente al final del período vegetativo si se pretende una buena conversión de azúcares reductores en sacarosa. (1, 4, 24, 25).

c. Riego

Las características del suelo influyen directamente en el desarrollo del cultivo y en la condición de retención de humedad, por tanto, afectan indirectamente la dosis de madurante que se debe aplicar. Las plantas que crecen en suelos con baja capacidad de retención de agua son sometidas frecuentemente a estrés hídrico, lo cual afecta su desarrollo. Si adicionalmente ocurre una época seca entre la aplicación del madurante y la cosecha de la caña, la dosis aplicada se debe reducir como se mencionó anteriormente. En términos generales, los cultivos que crecen en suelos de baja fertilidad con limitaciones en sus condiciones físicas o con baja capacidad de retención de humedad deben recibir una dosis menor de madurante, en comparación con cultivos en suelos sin este tipo de problemas. Cada variedad debe ser sembrada en un período adecuado de tiempo para poder ser cosechada en el momento que de acuerdo a su patrón de maduración (máxima concentración de sacarosa) se encuentre en su estado óptimo. (1, 4, 24, 25).

Para el caso de Centro América y el Caribe, las variedades pueden clasificarse de acuerdo a la época o período de la zafra en que se intenta cosecharlas, agrupándose en tres categorías: variedades para inicios de zafra, variedades para mediados de zafra y variedades para finales de zafra, siendo un factor determinante su hábito de floración. Así tenemos que las variedades floreadoras, en su mayoría oriundas de Canal Point (Florida, Estados Unidos), se usan para iniciar la zafra ya que naturalmente concentran niveles aceptables de sacarosa en los meses de noviembre y diciembre debido a que al transformarse el crecimiento vegetativo en reproductivo, la planta finaliza su crecimiento produciendo un buen nivel de maduración. Esto hizo que, para el caso de Guatemala, se introdujeran varios de estos materiales llegando al extremo que en la actualidad aproximadamente el 80 % del área sembrada con caña lo constituyen variedades floreadoras (1, 4, 24, 25).

Por otro lado, se busca que para mediados y para finales de zafra las variedades concentren niveles aceptables de sacarosa, pero que no sean floreadoras, ya que de otro modo la floración, que debe haberse iniciado en octubre normalmente, produce

deterioro que se ve incrementado con cada día que permanece la caña floreada en el campo. Ello significa que, naturalmente, en los meses de febrero a mayo no deberían cosecharse variedades floreadoras, a menos que se les induzca artificialmente un mecanismo que detenga el deterioro e incremente, o mantenga al menos, los niveles de sacarosa alcanzados. En regiones donde se manejan los riegos después del período de establecimiento, llamados riegos pre-cosecha, deben controlarse los períodos de irrigación antes de la cosecha. Una eliminación o reducción drástica de la lámina de agua aprovechable para la planta, la predispone a detener su tasa de crecimiento, y con ella utilizar menos sacarosa, consiguientemente, elevando la concentración de ésta en los tallos, dando paso así al proceso de maduración. (1, 4, 24, 25).

2.2.1.6. Maduración natural

Las condiciones en las que madura este cultivo son muy variables independientemente de las prácticas que se utilicen para obtener altos contenidos de sacarosa. El contenido de sacarosa en los tallos depende en buena parte de las condiciones climáticas durante las últimas semanas del período de cultivo, especialmente de la precipitación. (1, 4, 24, 25).

Para mantener niveles de rendimiento satisfactorios se recomienda:

- Utilizar variedades de caña con alto potencial de acumulación de sacarosa en condiciones naturales y cosecharlas en el momento óptimo de maduración.
- Hacer las aplicaciones de riego teniendo en cuenta el balance hídrico en el suelo.
- Suprimir los riegos después de los diez meses de edad del cultivo para favorecer el agostamiento natural.
- Asegurar un adecuado balance de la fertilidad en el suelo que contribuya a incrementar o por lo menos sostener el contenido de sacarosa: aplicar cantidades adecuadas de nitrógeno y potasio de acuerdo con los resultados del análisis de suelo; evitar las aplicaciones tardías de nitrógeno.
- Cosechar la caña con el menor contenido posible de materia extraña y reducir a menos de 24 horas los tiempos de permanencia entre corte y molienda para

mantener así la sacarosa producida en el campo y evitar pérdidas en los procesos de fábrica.

- Es posible obtener niveles altos de sacarosa mediante la selección de variedades apropiadas y prácticas culturales adecuadas. (1, 4, 24, 25).

2.2.1.7. La maduración inducida

El que hacer de la agroindustria azucarera por definición es producir azúcar como tal, sin embargo, es necesario puntualizar que la producción de azúcar está directamente relacionada con el tonelaje obtenido por unidad de área y el rendimiento o contenido de sacarosa por unidad de peso de caña molida. (3, 5, 14, 16).

Anteriormente se mencionaba que entre los principales factores naturales y agronómicos que limitan la maduración natural de la caña de azúcar se encuentran la humedad del suelo, el nitrógeno y la temperatura ambiental, factores que son difíciles de controlar sin la ayuda de un medio artificial, a menos que se cultive en ambientes dotados por la naturaleza en que la planta acumula suficiente concentración de sacarosa como para hacer de la producción de azúcar una actividad altamente rentable. De otra manera, se justifica y prácticamente se hace imprescindible el uso de productos químicos para inducir la acumulación de sacarosa y a la vez, sincronizar la maduración de la caña de acuerdo con la programación de la zafra. Esto ha dado paso a la utilización de la tecnología de aplicación de madurantes en el cultivo de la caña de azúcar que en Guatemala y en general en todo Centro América, así como en Colombia, ha sido altamente rentable. (3, 5, 14, 16).

La amplia difusión del uso de madurantes en caña de azúcar en los últimos años, especialmente en Guatemala y Colombia, ha hecho que surjan una serie de interrogantes que no son de fácil respuesta, lo que ha conducido a que en países cañicultores por excelencia, como Brasil y Cuba, la práctica no sea de uso extensivo (3, 5, 14, 16).

En Guatemala las primeras pruebas en el uso de madurante, en este caso glifosato, se hicieron al inicio de los años 70, pero ni las pruebas, ni el uso comercial cobró vigencia sino hasta finales de la década de los 80, cuando en Estados Unidos y Colombia ya era comercial el uso de glifosato como madurante y se vislumbraba el apareamiento de fuertes contendientes como el etefon, comercializado por Union Carbide como Ethrel, y la melfluida, comercializada por la compañía 3M con el nombre de Embark. Ya en ese entonces, en los Estados Unidos, aparecían dos nuevos candidatos constituídos por el fluazifop, comercializado por la Imperial Chemical Industries como Fusilade, y el setoxydim registrado con el nombre de Poast por BASF (3, 5, 14, 16).

El uso comercial de madurantes en Guatemala principia alrededor del año 1989, y como se mencionara anteriormente la práctica se ha incrementado considerablemente, al grado que en la actualidad se le aplica madurante a aproximadamente el 60 % del área cultivada con caña (110,000 ha de un total de 180,000). Entre el 85 y el 90 % del área aplicada con madurante lo constituye glifosato, nombre comercial Round-up y Roundup Max, en el resto se utiliza Fluazifop, nombre comercial Fusilade, y en menor escala etefón o Ethrel y otros (3, 5, 14, 16).

Nuevos productos, en su mayoría con propiedades herbicidas, se han investigado en busca de que puedan inducir la acumulación de sacarosa en el cultivo, habiendo algunas opciones que se muestran promisorias, las que se enumeran a continuación, pero que necesitan aun probarse en distintas condiciones:

- Balanceador de Auxinas (no registrado aún)
- Quizalofop (registrado como Assure o Targa)
- Haloxifop (registrado como Galant)
- Cletodim (registrado como Select)

Aún cuando el madurante no está dirigido a revertir un mal manejo del cultivo, debe recordarse que esta tecnología reviste un potencial que permite mejorar el contenido de azúcar de cultivares que responden a la aplicación, incrementar la

producción de azúcar por unidad de área, adelantar la fecha de inicio de la zafra (primera semana de noviembre en Guatemala), extender el período de duración de la zafra, aún hasta los meses en que inicia la nueva estación lluviosa (abril y mayo para el caso de Guatemala), detener el crecimiento en tallos jóvenes, mamones, y tallos exuberantes presentes en áreas abiertas o con cañas postradas, detener o suprimir la floración como efecto secundario del madurante al inhibir el crecimiento apical del tallo (glifosato), reducir considerablemente el peso de la parte superior de la caña, mejorar la cosecha mecanizada, promover el secado del material vegetativo, promover una mayor eficiencia del ingenio y mejorar la extracción y procesamiento de los jugos. A menudo estos beneficios no se logran obtener debido a factores negativos o al desconocimiento de las características del madurante empleado (3, 5, 14, 16).

2.2.1.8. *Importancia en el uso de madurantes*

La región azucarera de Guatemala presenta óptimas condiciones para la producción de caña de azúcar. Sin embargo, en algunos casos esas mismas condiciones no permiten el almacenamiento de sacarosa en los tallos en las cantidades necesarias para conseguir una producción de azúcar alta. La maduración de la caña de azúcar puede ser considerada desde tres puntos de vista, botánico, fisiológico y económico; desde el punto de vista botánico hay que considerar que la caña de azúcar está madura después de la emisión de flores y formación de semillas que puedan dar origen a nuevas plantas. Teniendo en cuenta la reproducción vegetativa, que es la usada en la práctica, la maduración puede ser considerada en un ciclo mucho más corto, cuando las yemas ya están en condición de dar origen a nuevas plantas; desde el punto de vista fisiológico, está se alcanza cuando los tallos logran su potencial de almacenamiento de sacarosa, se alcanza la maduración botánica totalmente antes de alcanzar la fisiológica por lo que las semillas pueden ya estar cayendo de la flor y la acumulación de sacarosa continua por lo general por un período de uno a dos meses y desde el punto de vista económicamente se considera madura, a partir del momento en que presenta un contenido mínimo de sacarosa, con un pol por encima del 13% con

base en el peso de la caña; los reguladores de crecimiento que como consecuencia incrementan el contenido de sacarosa en los tallos son utilizados como madurantes. Es posible que algunos actúen también sobre las enzimas que catalizan la acumulación de sacarosa. En los últimos años se ha evaluado la acción madurante de nuevos productos denominados bio-estimulantes y, aunque los resultados de su aplicación no son iguales a los obtenidos con los reguladores de crecimiento, algunos bio-estimulantes han mostrado buena respuesta (6, 12).

2.2.1.9. Variables o parámetros para medición de sacarosa en caña

Las variables o parámetros que se utilizaron determinar el contenido de sacarosa, en el cultivo de caña de azúcar son:

- **Grados Brix**

Los grados brix es el porcentaje en peso de los sólidos contenidos en una solución sacarosa pura, o la representación de los sólidos aparentes en una solución de azúcar.

- **Pol**

El pol es un valor de referencia que indica la cantidad de sacarosa presente en una solución. El pol es una medida lineal del contenido de sacarosa de una solución que es igual a la lectura polarimétrica corregida.

- **Azúcares Reductores**

Los azúcares reductores son suma de fructosa y glucosa presentes en el jugo de la caña.

- **Peso Torta**

El peso torta se refiere al peso del residuo que queda después de pasar caña picada por la prensa hidráulica.

- **Acidez**

La acidez se refiere a la cantidad de ácido libre en el jugo, es decir cuantifica la acidez en el jugo de caña.

- **pH**

El pH es la concentración de iones hidronio en una solución.

- **Dextranas**

Dextranas son polímeros de glucosa producidos por microorganismos que contaminan la caña de azúcar.

- **Sacarosa**

La sacarosa es un disacárido que por hidrólisis produce glucosa y fructuosa, llamada también azúcar de caña.

- **Glucosa**

La glucosa es un azúcar monómero perteneciente al grupo aldehído.

- **Fructuosa**

La fructuosa es un azúcar monómero perteneciente al grupo cetónico.

- **Pureza (HPLC)**

La pureza son los sólidos disueltos de sacarosa en el jugo, en un 100%, consiste en la determinación de sacarosa por medio de cromatografía líquida de alta presión.

- **Rendimiento**

El rendimiento es la cantidad de azúcar que se extrae de una tonelada corta de caña en libras, sin tomar en cuenta su composición (20, 21, 24, 25).

2.2.2. MARCO REFERENCIAL

2.2.2.1. Localización y descripción del área

La Finca Nueve Cerros tiene una área total de 326.74 ha, está ubicada geográficamente en el municipio de Chiquimulilla, Santa Rosa a 136 kilómetros de la ciudad capital. Esta finca está ubicada a una altura de 15 msnm, a una latitud Norte 13° 55´ 06.61´´, longitud Oeste 90° 20´ 08.58´´. Sus colindancias son al norte con la finca El Regalo, al sur con la finca El Sauce, al oeste con finca Santa Clara y al este con la finca Cobadonga. El camino es de terracería y es transitable todo el año. El área seleccionada donde se desarrolló el ensayo, es en Finca Nueve Cerros, Lote 3230103, Variedad CP 73-1547 en el municipio de Chiquimulilla, Santa Rosa, Región Oriente del Ingenio Magdalena (7).

2.2.2.2. Condiciones Climáticas

El clima de la finca Nueve Cerros por pertenecer a la región oriente, según Thornthwaite, presenta las características siguientes: Época seca de diciembre a abril, época húmeda de mayo a noviembre, temperaturas máximas en los meses de marzo y abril, mínimas en diciembre y enero. La finca posee una precipitación media anual de 1700 mm, con una distribución de la lluvia de 165 días durante todo el año, siendo los meses con mayor precipitación de mayo a octubre, y los meses con menor precipitación de noviembre a abril, la temperatura promedio es de 27.01 °C y una humedad relativa anual promedio de 85% (7).

2.2.2.3. Ecología

La finca Nueve Cerros de acuerdo a la clasificación ecológica de Holdridge ubicada dentro de la zona de vida “Bosque muy Húmedo Subtropical Cálido”. El clima

de la región se caracteriza por tener dos estaciones predominantes: estación seca del mes de diciembre hasta abril y estación lluviosa de mayo a noviembre (7).

2.2.2.4. Geología

Según el mapa de suelos del Ingenio Magdalena, los suelos de la finca nueve cerros son suelos Entisoles; según la clasificación de la taxonomía de suelos, un Entisol se define como un suelo que no muestra ningún desarrollo definido de perfiles. La formación del suelo sucedió en el periodo de aluviones cuaternarios y con tipo de rocas sedimentarias. Presenta una textura del suelo de Franca Gruesa 75% y Arenosa 25 % del área (7).

2.2.2.5. Fisiografía

Se considera una llanura costera del pacifico, el terreno de la finca presenta un relieve plano, con un 4 % de pendiente (7).

2.2.2.6. Hidrografía

Pertenece al Vertiente del Pacifico, comparte 2 cuencas, área de captación del Rio Los Esclavo, y Área de captación del rio María Linda. Por la disponibilidad del recurso hídrico la finca es regada por gravedad (7).

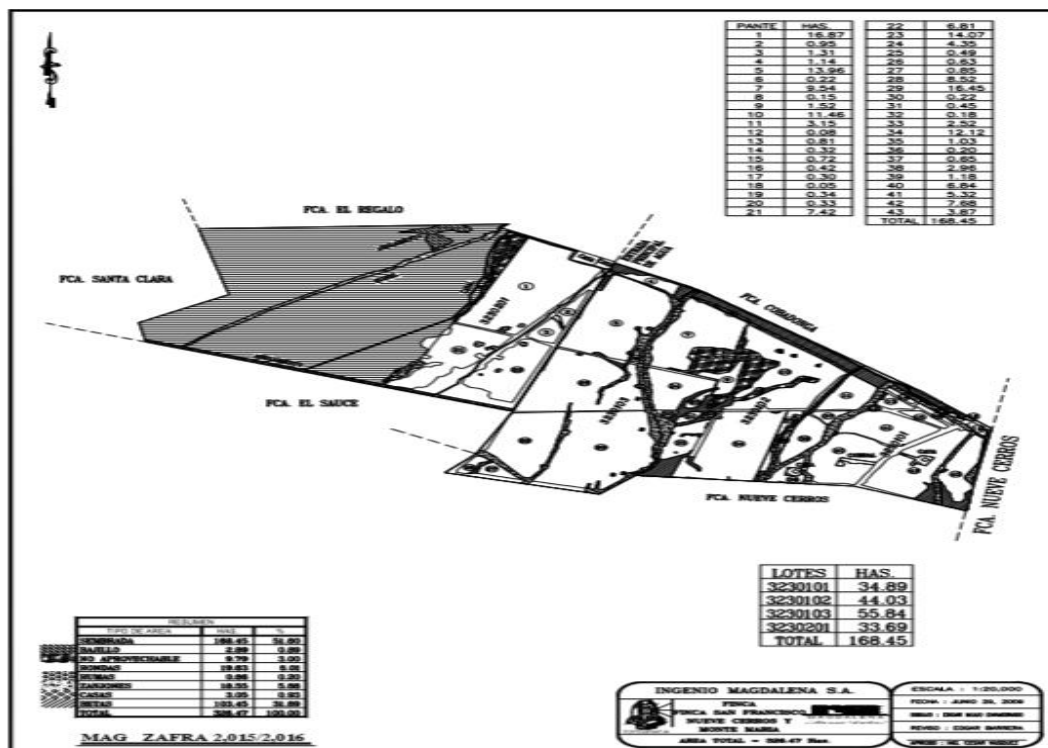
2.2.2.7. Uso actual de la Tierra

El uso principal de la finca Nueve Cerros es para cultivar caña de azúcar, como se observa en la figura 7.



Fuente: Google earth, 2016.

Figura 7. Ubicación de la finca Nueve Cerros, Chiquimulilla, Santa Rosa.



Fuente: Zafra Ingenio Magdalena, 2015

Figura 8. Croquis de la ubicación de la finca Nueve Cerros, Chiquimulilla, Santa Rosa.

2.2.2.8. Características de los madurantes

Los productos utilizados como madurantes cuentan con amplia aceptación en el sector azucarero y han sido evaluados por las autoridades competentes teniendo en cuenta los criterios de utilización y manejo seguro. Son productos de toxicidad baja a moderada y su impacto ambiental es bajo.

A. Sal isopropilamina de glifosato (Round-up SL)

La sal isopropilamina de glifosato es un producto sistémico que se utiliza en caña de azúcar para favorecer el incremento del contenido de sacarosa. El nombre químico del ingrediente activo es N-(fosfometil) glicina. La formulación del producto es una sal (sal isopropilamina de glifosato) en concentración de 480 g/lit de producto comercial. El modo de acción de esta sal se caracteriza porque el ingrediente activo penetra en el follaje y se desplaza junto con los productos de la fotosíntesis tanto en el xilema (apoplasto) como en el floema (simplasto) para acumularse en los meristemos, principalmente en la yema terminal. Se considera que el glifosato inhibe la acción de las enzimas mutasa corísmica y dehidratasa prefénica, las cuales intervienen en la síntesis del ácido corísmico el cual, a su vez, es el precursor de los aminoácidos triptofano, tirocina y fenilalanina que son exclusivos o que solamente sintetizan las plantas. La inhibición de la síntesis de estos tres aminoácidos, entre ocho que solamente sintetizan las plantas, es la base de la baja toxicidad de esta sal para los animales (17).

En la caña de azúcar se ha demostrado que este producto también reduce los niveles de la invertasa ácida, una enzima necesaria para desdoblar la sacarosa en glucosa y fructosa que son utilizadas directamente para el crecimiento de la planta. Como resultado de lo anterior, el desdoblamiento de la sacarosa que se utiliza para crecimiento es menor y su almacenamiento en las células es mayor, principalmente en las del tercio superior del tallo (17).

Los síntomas externos en la planta aparecen lentamente, de una a dos semanas después de la aplicación se observa un leve amarillamiento del follaje que progresa hasta estabilizarse en la quinta o sexta semana. En este período se produce un hinchamiento de las yemas en los nudos de la parte superior de los tallos. La planta absorbe el producto en las seis horas siguientes a la aplicación, de forma que el lavado por lluvias durante este tiempo puede reducir la efectividad del tratamiento. Es importante señalar que este producto es totalmente biodegradable y no deja residuos en el suelo que puedan afectar el desarrollo de los cultivos siguientes, debido a que la molécula del ingrediente activo reacciona químicamente con las arcillas y se adhiere fuertemente a ellas. Esta reacción de descomposición por microorganismos ocurre en cuanto los residuos llegan al suelo y en un término de 60 a 90 días se transforman en productos naturales como dióxido de carbono (CO₂), nitrógeno (N), fósforo (P) y agua (H₂O) (17).

B. Fitoregulador (Moddus 250 EC)

Es un producto sistémico que actúa como regulador del crecimiento, que presenta como ingrediente activo Trinexapac-etil, inhibe la elongación de los entrenudos. Este regulador es absorbido por hojas y brotes siendo luego translocado a las áreas de actividad meristemática donde inhibe la síntesis de ácido giberélico y por consecuencia la elongación de los entrenudos. Las dosis mayores indicadas en el cuadro deben ser utilizadas en variedades más vigorosas y las dosis menores en variedades de menor crecimiento (18).

C. Sulfometuron Metil (Curavial)

Sulfometuron metil es un herbicida que se transloca por la planta hasta los meristemas, inhibiendo el crecimiento en ápices y yemas del grupo químico sulfonilureas. Es un grupo de reciente aparición, con elevada actividad a dosis bajas. Controlan sobre

todo a dicotiledóneas y algunas gramíneas. Se absorben por raíces y hojas, y se translocan con facilidad. A los pocos días comienzan los síntomas: un color rojizo en las partes jóvenes del vegetal, seguido de clorosis y necrosis, que va progresando a las más viejas. Se caracteriza por la inhibición de crecimiento de las plantas. Presenta acción sistémica, que después de su absorción por las hojas del cultivo, opera en las regiones meristemáticas, afecta el crecimiento mediante la inhibición de la división celular. La inhibición meristemática apical, provoca una reducción en intermodal, entonces se produce la sacarosa en el proceso de almacenamiento en lugar de emitir nuevas hojas, lo que resulta en la reducción en el índice médula. . La acumulación de sacarosa debida a la aplicación, pone en materias primas de mejor calidad que permiten un aumento de la capacidad de molienda. Este herbicida no causa la muerte de la yema apical de la caña de azúcar, los entrenudos que se forman después de la aplicación reanudan su crecimiento normal, lo que permite al cultivo, más tiempo condiciones de cosecha. En caña de azúcar proporciona una mayor flexibilidad para el productor que permite la planificación de corte y gestión técnica a través de anticipación a las condiciones fisiológicas adecuadas para la cosecha (10).

2.3. OBJETIVOS

2.3.1. Objetivo general

Evaluación del efecto del madurante herbicida Sulfometuron Methyl aplicado en diferentes semanas, el fitoregulador Trinexapac-etil, así como el madurante herbicida Sal isopropilamina de glifosato en el cultivo de caña de azúcar en la Región Oriental de Ingenio Magdalena S. A.

2.3.2. Objetivos específicos

- 2.3.2.1. Determinar el efecto en el rendimiento, libras de azúcar por toneladas de caña, como producto de la aplicación de Sulfometuron Methyl, en diferentes semanas, el fitoregulador Trinexapac-etil, así como el herbicida Sal isopropilamina de glifosato en el cultivo de caña de azúcar como madurantes.
- 2.3.2.2. Determinar el efecto en la producción, toneladas de caña por hectárea TCH, como producto de la aplicación de Sulfometuron Methyl, en diferentes semanas, el fitoregulador Trinexapac-etil, así como el herbicida Sal Isopropilamina de Glifosato en el cultivo de caña de azúcar como madurantes.
- 2.3.2.3. Determinar el efecto fitotóxico sobre los rebrotes de caña de azúcar mediante la aplicación de Sulfometuron Methyl, en diferentes semanas, fitoregulador Trinexapac-etil, así como el herbicida Sal Isopropilamina de Glifosato en el cultivo de caña de azúcar como madurantes.

2.4. HIPÓTESIS

La aplicación de Sulfuometuron Metil como madurante en caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) en la etapa fisiológica de maduración se obtendrá el valor más alto sobre el rendimiento de toneladas de caña de azúcar por hectárea – TCH – y toneladas de azúcar por hectárea – TAH –.

2.5. METODOLOGÍA

2.5.1. Tratamientos y repeticiones

Se evaluó el efecto de Sulfometuron Metil (CURAVIAL) como madurante, aplicado a las cuatro, seis y ocho semanas antes de la cosecha comparándose estos resultados con un testigo absoluto, Sal isopropilamina de Glifosato (Round-Up) y Trinexapac-etil (Moddus), los madurantes que son utilizados actualmente por el Ingenio Magdalena S.A. Se evaluaron cinco tratamientos de madurantes con la dosis comercial y un testigo absoluto. Se tuvieron tres repeticiones por tratamiento. Los tratamientos consistieron en una sola aplicación de la dosis del producto en el tiempo a excepción del testigo que no se le aplicó ningún producto, como se muestra en el cuadro 1.

Cuadro 1. Descripción de los tratamientos, dosis y semanas de aplicación.

No.	Tratamiento		Descripción	
	Ingrediente Activo	Nombre comercial	Dosis	Semana de aplicación de Madurante (SAM)*
1	Sin producto	Testigo		
2	Sulfometuron Methyl	CURAVIAL 25WG	25 g/ha	4*
3	Sulfometuron Methyl	CURAVIAL 25WG	25 g/ha	6*
4	Sulfometuron Methyl	CURAVIAL 25WG	25 g/ha	8*
5	Trinexapac-etil	MODDUS 25 EC	1.5 L/ha	8*
6	Sal isopropilamina de glifosato	ROUND UP 35.6 SL	1.20 L/ha	8*

*El tiempo de aplicación son semanas antes de la cosecha.

Fuente: Elaboración propia, 2016.

El primer tratamiento consistió en el testigo absoluto, el segundo tratamiento de una dosis de CURAVIAL de 25 g/ha aplicado a 4 semanas antes de cosechar, tercero tratamiento de una dosis de CURAVIAL de 25 g/ha aplicado a 6 semanas previo a la cosecha, cuarto tratamiento de una dosis de CURAVIAL de 25 g/ha aplicado a 8 semanas anterior a la cosecha, el quinto tratamiento MODDUS 25 EC en una dosis de 1.5 L/ha 8 semanas antes de la cosecha y el sexto tratamiento ROUND UP 35.6 SL en una dosis de 1.20 L/ha 8 semanas antes de su cosecha. A continuación en el cuadro 1, se describen los tratamientos.

3.1 Diseño Experimental

3.1.1 Diseño experimental de bloques al azar

Los tratamientos fueron distribuidos de forma aleatoria utilizando el Diseño de Bloques Completamente al Azar DBCA. Para disminuir el efecto de variabilidad que pudiera ocasionar por encontrarse en campo. Con tres repeticiones para cada tratamiento.

3.1.2 Modelo estadístico de bloques al azar

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

Donde:

Y_{ij} : Variable de respuesta en la i,j-ésima unidad experimental.

μ : Valor de media general

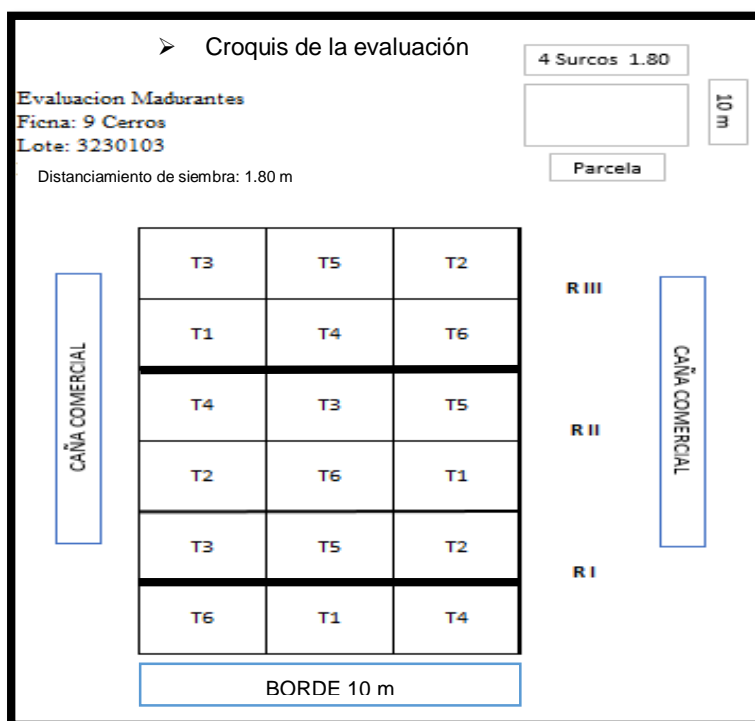
τ_i : Efecto del i-ésimo nivel del tratamiento

β_j : Efecto del j-ésimo nivel del bloque

ε_{ij} : Error experimental asociado a la i,j-ésima unidad experimental.

2.5.1.1. Unidad experimental

Las unidades experimentales fueron de 4 surcos de ancho por 10 metros de largo. En cuanto a la selección del área se consideró: variedad CP73-1547, edad de cortes, número de cortes. El experimento contenía: $t = 6$ tratamientos y $r = 3$ repeticiones para cada tratamiento, para un total de unidades experimentales (parcelas) incluidas en el experimento es $t \times r = 6 \times 3 = 18$. Las 18 parcelas fueron aleatorizados sin restricciones. Las dosis se aplicaron de acuerdo a las semanas estipuladas (ver figura 9).



Fuente: Elaboración propia, 2016.

Figura 9. Arreglo y aleatorización de los tratamientos en el campo.

2.5.1.2. Variables de respuesta

Las variables de respuesta que fueron tomadas son:

- Pol
- Jugo

- Grados Brix
- Toneladas de caña por hectárea
- Libras de azúcar por toneladas de caña
- Numero de rebrotes por metro.

Las variables de pol, jugo y grados brix fueron medidas en el laboratorio de caña ubicado dentro del ingenio Magdalena por personal capacitado que posteriormente fueron entregadas en base de datos. Las toneladas de caña por hectárea fueron tomadas en la cosecha del ensayo pesando la caña antes de su alce, mientras que las libras de azúcar por toneladas de caña fueron estimadas con las formulas siguientes:

$$\text{Producción} = \text{Toneladas de Caña por Hectárea}$$

$$\text{Rendimiento (Libras de azúcar/tonelada)} = 2200 * \left(\frac{\% \text{ Jugo}}{100}\right) * \left(\frac{\text{Pol Jugo}}{100}\right) * 0.79$$

$$\text{Productividad (Libras de azúcar/hectárea)} = \text{Rendimiento} * \text{Producción}$$

2.5.1.3. Manejo del experimento

Se le realizó el mismo manejo del experimento que se utiliza en toda el área de caña de azúcar en cuanto a riego y fertilización. Se elaboró una brecha entre los tratamientos, y sus repeticiones, las parcelas fueron separadas con estacas.

A. Aplicación:

- El producto fue medido a través de una balanza digital, separado por dosis e identificado para cada unidad experimental.

- Traslado al campo debidamente identificados cada uno de los tratamientos.
- Distribución de los tratamientos según diseño ya planteado en el croquis.

B. Muestreo y análisis de datos

Se realizaron muestreos de pre-cosecha; estos se obtuvieron antes y después de la aplicación de madurantes, posteriormente se llevaron al laboratorio de Ingenio Magdalena para que fueran analizados. En el laboratorio se realizó el análisis del porcentaje de jugo, Brix y Pol. Los muestreos fueron semanales en los dos meses que duró la evaluación, hasta que se llegó a cosecha. La muestra utilizada consistió de cinco cañas maduras por parcela, ver figura 10.



Fuente: Elaboración propia, 2016.

Figura 10. Diagrama de flujo de la metodología.

C. Análisis de la información

El análisis de la información se llevó a cabo utilizando el software Microsoft Excel, en el que se digitaron los datos y se realizaron las gráficas correspondientes. Para realizar el análisis de datos se utilizó el software estadístico INFOSTAT para la realización del ANDEVA, como no presentó diferencia estadística significativa no requirió una prueba post-ANDEVA.

2.6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La caña de azúcar produce glucosa más fructuosa que son azúcares simples y las almacena en el tallo en forma de sacarosa, que es la unión de ambos azúcares para ser utilizada en las zonas de crecimiento apical y caulinar, como a su vez en los nudos de donde emergen las hojas y contienen yemas en los nudos que son zonas con tejido meristemático.

La maduración de la caña de azúcar tiene diversas connotaciones dependiendo el enfoque: maduración botánica sucede posterior a la emisión de flores y formación de semillas que puedan dar origen a nuevas plantas; maduración fisiológica cuando los tallos acumulan su máximo potencial de sacarosa, o sea acumulan la mayor cantidad de azúcar y maduración económica está dada cuando la caña de azúcar presenta un contenido mínimo de sacarosa y un pol por encima de un 13% con base en el peso de la caña.

Naturalmente la caña alcanza su maduración botánica antes que su maduración fisiológica, por lo general 1 o 2 meses más después del inicio de la caída de la semilla. Por ende se requiere una maduración económica.

2.6.1. Experiencias en la evaluación del rendimiento de libras de azúcar por tonelada de caña

En el cuadro 2, se presenta el resumen de los resultados obtenidos a nivel de campo en los tres aspectos evaluados, para los tratamientos considerados en esta investigación:

- Libras de azúcar por tonelada métrica de caña
- Toneladas de caña por hectárea
- Toneladas de azúcar por hectárea

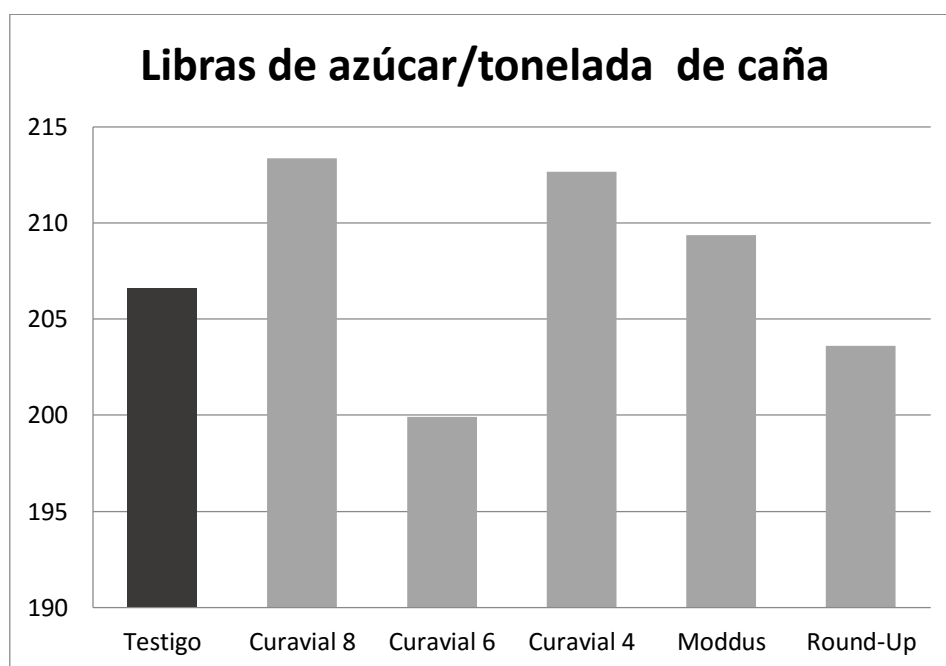
Cuadro 2. Resultados de aplicaciones de madurantes en caña de azúcar.

Tratamiento	Peso (libras)	Libras de azúcar/tonelada métrica	Toneladas de caña/hectárea (TCH)	Toneladas de azúcar/hectárea (TAH)
Testigo	2,995	206.59	189.08	17.8
Curavial 8	3,871	213.37	244.38	23.61
Curavial 6	3,315	199.92	209.28	19.03
Curavial 4	3,568	212.67	225.25	21.76
Moddus	4,389	209.35	277.08	26.37
Round-Up	3,141	203.61	198.3	18.33

Fuente: Elaboración propia, 2016.

2.6.1.1. Rendimiento de libras de azúcar por tonelada de caña

En la figura 5, se presenta la gráfica del rendimiento en libras de azúcar por tonelada de caña, como resultado del efecto producido por el madurante aplicado.



Fuente: Elaboración propia, 2016.

Figura 11. Libras de azúcar por tonelada de caña

Como se observa en la gráfica, con la aplicación de Sulfometuron metil (Curavial), se obtuvo 213.37 libras de azúcar/tonelada de caña; al aplicar Trinexapac-etil (Moddus), se obtuvo 209.59 libras de azúcar/tonelada de caña; y con la aplicación de Sal isopropilamina de glifosato, se obtuvo 203.61 libras de azúcar/tonelada de caña.

En el cuadro 3 se presentan los resultados obtenidos del análisis de varianza realizado a la variable libras/tonelada de caña de azúcar.

Cuadro 3. Análisis de varianza para libras/tonelada de caña

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	413.83	5	82.77	0.70	0.6310
Producto	413.83	5	82.77	0.70	0.6310
Error	1409.84	12	117.49		
Total	1823.67	17			

Fuente: Elaboración propia, 2016.

Según el análisis de varianza, en esta variedad, no existe diferencia significativa en las libras de azúcar por tonelada de caña, al utilizar diferentes madurantes. Es decir, con Sulfometurón metil y los otros madurantes, estadísticamente se tiene el mismo efecto en dicha variable en estas condiciones.

2.6.1.2. Producción de tonelada de caña por hectárea–TCH–

La producción está influenciada por diferentes factores, como la fertilidad, riego, nutrición, luz, variedad, etc. A nivel de campo aunque se reduzca la variabilidad no se puede controlar en su totalidad todas las condiciones ambientales porque hay factores externos como la precipitación, temperatura y luz entre otras. Debido a que el Trinexapac-etil (Moddus), es un regulador de crecimiento, la planta continuó en crecimiento y no indujo a la concentración de azúcar, por lo que incrementó el peso en toneladas de caña por hectárea, lo que no sucede con los de tipo herbicida. En el

cuadro 4 se presentan los resultados del análisis de varianza realizado a toneladas de caña por hectárea, bajo el efecto de diferentes madurantes.

Cuadro 4. Análisis de varianza para toneladas de caña/ha

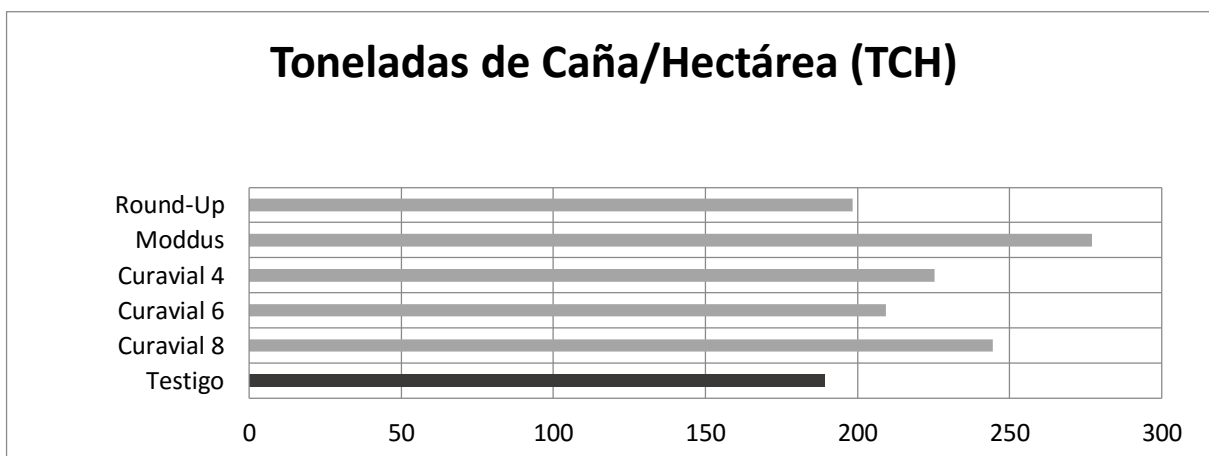
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	16586.72	7	2369.53	6.53	0.0044
Producto	15994.98	5	3199.00	8.82	0.0020
Repetición	591.74	2	295.87	0.82	0.4697
Error	3627.50	10	362.75		
Total	20214.23	17			

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=54.01360					
Error: 362.7504 gl: 10					
Producto	Medias	n	E.E.		
Testigo	189.08	3	11.00	A	
Round-Up	198.30	3	11.00	A	B
Curavial 6	209.28	3	11.00	A	B
Curavial 4	225.25	3	11.00	A	B C
Curavial 8	244.38	3	11.00	B	C
Moddus	277.08	3	11.00		C

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

Fuente: Elaboración propia, 2016.

En el cuadro anterior, se puede observar que existen diferencias altamente significativas para la variable de producción de tonelada de caña por hectárea. Dada esta condición, se realizó una prueba de medias, que se presenta en la figura 6, para determinar cuál es el producto con mejores resultados.



Fuente: Elaboración propia, 2016.

Figura 12. Gráfica de rendimiento en toneladas de caña de azúcar/ha, bajo efecto de diferentes madurantes.

En la gráfica se puede observar que, en la comparación de las medias, se formaron 3 grupos. El tratamiento que obtuvo el mayor rendimiento, en toneladas de caña por hectárea es Trinexapac-etil (Moddus) con 277.08 toneladas de caña/hectárea y en un segundo lugar el tratamiento con la aplicación de Sulfurometuron metil (Curavial) a 8 semanas, con 244.38 toneladas de caña/hectárea.

2.6.1.3. Productividad de tonelada de azúcar por hectárea –TAH–

En el cuadro 5, se presentan los resultados obtenidos del análisis de varianza para la variable productividad de tonelada de azúcar por hectárea.

Cuadro 5. Análisis de varianza para toneladas de azúcar por hectárea.

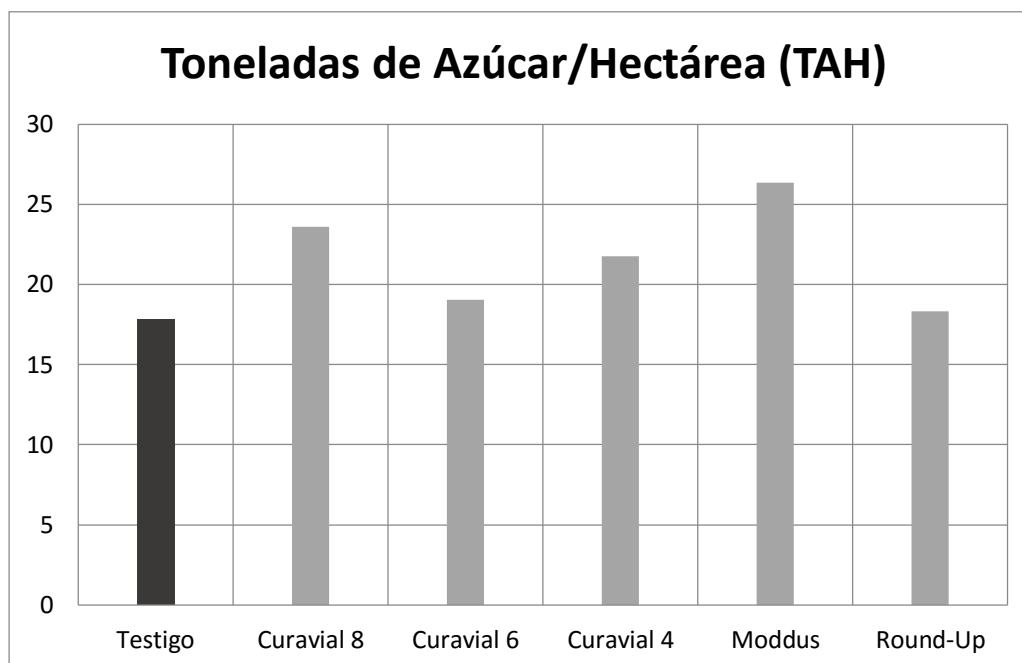
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	189.44	7	27.06	10.33	0.0007
Producto	172.07	5	34.41	13.14	0.0004
Repetición	17.37	2	8.69	3.32	0.0786
Error	26.19	10	2.62		
Total	215.63	17			

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=4.58976					
Error: 2.6193 gl: 10					
Producto	Medias	n	E.E.		
Testigo	17.80	3	0.93	A	
Round-Up	18.33	3	0.93	A	
Curavial 6	19.03	3	0.93	A	B
Curavial 4	21.76	3	0.93	A	B
Curavial 8	23.61	3	0.93	B	C
Moddus	26.37	3	0.93	C	

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

Fuente: Elaboración propia, 2016.

Se observa que existen diferencias altamente significativas, por lo que se realizó una prueba de medias para agrupar los madurantes con resultados similares. En la comparación de las medias, se determinó que los mayores rendimientos se obtienen con el tratamiento de Trinexapac-etil (Moddus), con 277.08 toneladas de azúcar/ha; en un segundo lugar, el tratamiento de Sulfurometuron metil (Curavial), a ocho semanas, con el que se obtuvo 244.38 toneladas de azúcar/ha. En la figura 7, la gráfica de barras muestra el comportamiento que tuvo esta variable como respuesta a los tratamientos aplicados.



Fuente: Elaboración propia, 2016.

Figura 13. Tonelada de caña de azúcar/ha, para diferentes aplicaciones de madurantes.

La productividad se encuentra influenciado en su mayoría por la producción que por el rendimiento, es por esta razón que si se aprecia diferencia estadística significativa en producción y se refleja en productividad.

2.6.1.4. Rebrotos por metro

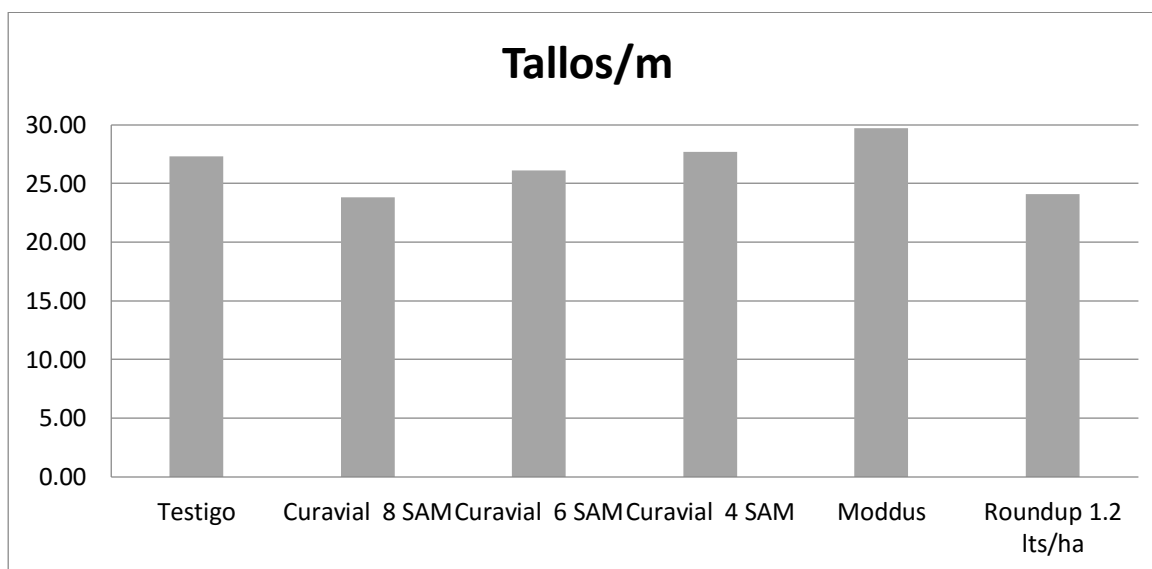
En el cuadro 6, se presentan los resultados de tallos por metro (rebrotos), obtenidos con cada tratamiento utilizado.

Cuadro 6. Cantidad de rebrotes (tallos por metro).

Tratamiento	Tallos/m
Testigo	27.33
Curavial 8 SAM	23.80
Curavial 6 SAM	26.13
Curavial 4 SAM	27.67
Moddus	29.73
Roundup 1.2 l/ha	24.07

Fuente: Elaboración propia, 2016.

En el cuadro, se observa que el mejor resultado se obtiene con el tratamiento Trinexapac-etil (29.7 tallos/metro). En segundo lugar de cantidad de rebrotes se obtiene con Sulfurometuron metil (Curavial) a 4 semanas (27.67 tallos/metro); debido a que presenta un efecto como regulador hormonal, como se puede observar en la figura 14.



Fuente: Elaboración propia, 2016.

Figura 14. Producción de tallos por metro como efecto de la aplicación de madurantes.

2.7. CONCLUSIONES

1. Según el análisis estadístico de las pruebas de medias, se observa para el caso de esta variedad no muestra diferencia significativa la utilización del Sulfometurón metil y los otros madurantes, estadísticamente se tiene el mismo efecto en dicha variable en estas condiciones.
2. Al evaluar la producción de tonelada de caña por hectárea (TCH) obtenidos en los tratamientos utilizados, las productividades altas obtenidas, son con Trinexapac-etil (Moddus) y Sulfurometuron metil (Curavial a 8 semanas) obteniendo una producción promedio de 277.08 y 244.38 de toneladas de caña de azúcar por hectárea, respectivamente.
3. El producto químico que presenta un efecto positivo sobre la producción de brotes de caña de azúcar por metro fue el Trinexapac-etil (Moddus) (29.7 tallos/metro) por ser un regulador hormonal.

2.8. RECOMENDACIONES

1. Evaluar el uso de Sulfurometuron metil en sus diferentes formulaciones como madurante en otros materiales comerciales de caña de azúcar, enfocándose los estudios para demostrar que variación de molécula es la más efectiva y viable, tanto técnica como económica.
2. Cuantificar el uso de Trinexapac-etil, Sal isopropilamina de glifosato y Sulfurometuron metil, como productos madurantes en cuatro, seis y ocho semanas antes de la cosecha del cultivo de caña.

2.9. BIBLIOGRAFÍA

1. Archila Arias, J. 1986. Maduración química de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.). *In* Curso el cultivo de la caña de azúcar (1986, CO). Memorias. Cali, Colombia, Técnicaña. p. 323-347.
2. Archila Árias, J; Villegas T, F. 2003. Madurantes en caña de azúcar: manual de procedimientos y normas para su aplicación. Cali, Colombia, CENICAÑA. 66 p. (Serie Técnica no. 32).
3. ASAZGUA (Asociación de Azucareros de Guatemala, GT). 2015. Economía (en línea). Guatemala. Consultado 20 ago 2015. Disponible en <http://www.azucar.com.gt/economia3.html>
4. Barneond Adrover, HR. 2002. Reseña histórica de las aplicaciones de madurante en el ingenio Tierra Buena, Nueva Concepción, Escuintla, periodo 1994-1999. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 57 p.
5. Buenaventura Osorio, CE. 1986. Evaluación de la aplicación de madurantes químicos en caña de azúcar en Colombia. Cali, Colombia, CENICAÑA. 20 p. (Documento de Trabajo no. 90).
6. CENGICAÑA (Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar, GT). 2004. Composición varietal de la agroindustria azucarera en Guatemala. Guatemala, Boletín Técnico no. 1, 60 p.
7. Cid, J Del. 2015. Localización de fincas Ingenio Magdalena (correo electrónico). Escuintla, Guatemala, Ingenio Magdalena, SIG.
8. Cronquist, A. 1981. An integrated system of classification of flowering plants. New York, US, Columbia University Press. 1262 p.
9. Cuéllar Cano, J; Castro, JC; Arana D, CH. 1997. Bioestimulantes de biomasa y rendimiento aplicados en la época de maduración de la caña con y sin glifosato. *In* Congreso de la Sociedad Colombiana de Técnicos de la Caña de Azúcar (4, 1997, CO). Memorias. Cali, Colombia, TÉCNICAÑA. p. 401-409.
10. Daniels, J; Roach, BT. 1987. Taxonomy and evolution, in sugarcane improvement through breeding. Holanda, Elsevier. p. 7-84.
11. Di Rienzo, JA; Casanoves, F; Balzarini, MG; González, L; Tablada, M; Robledo, CW. 2008. Info Stat versión 2008. Argentina, Universidad Nacional de Córdoba, FCA, Grupo InfoStat. 336 p.

12. DUPONT, BR. 2015. Curavial madurator (en línea). Brazil. Consultado 10 ago 2015. Disponible en <http://www.dupont.com.br/produtos-e-servicos/protecao-cultivos/plantacao-de-cana-de-acucar/produtos/curavial-regulador-vegetal-maturador.html>
13. Franz, JE; Mao, MK; Sikorski, JA. 1997. Glyphosate: a unique global herbicide. Washington, D.C., US, American Chemical Society. 653 p. (ACS Monograph no. 189).
14. ICA (Instituto Colombiano Agropecuario, CO). 1995. Normas del ICA en materia de insumos agrícolas - bioinsumos, abonos, enmiendas, acondicionadores, reguladores fisiológicos, coadyuvantes y plaguicidas, resolución no. 3079 del 19 de octubre de 1995. Santa Fe de Bogotá, Colombia. 43 p.
15. _____. 1996. Aplicación de insumos agrícolas: manual técnico, resolución no. 1068 de 1996. Santa Fe de Bogotá, Colombia. 48 p.
16. ICA Sección del Valle del Cauca (Instituto Colombiano Agropecuario, CO). 2000. Resolución no. 00099 del 12 de septiembre de 2000. Cali, Colombia. 2 p.
17. ICI Agrochemicals. 1987. Fluazifop-p-butyl: su seguridad a la salud humana y el medio ambiente. US, Boletín Agroquímica. 8 p.
18. Ingenio Magdalena, GT. 2009. Zafras hasta 2009 (en línea). Guatemala. Consultado 27 mar 2011. Disponible en www.imsa.com.gt
19. Ministerio de Salud Pública de Colombia, CO. 1991. Decreto no. 1843 del 22 de julio de 1991: se reglamenta el uso y manejo de plaguicidas. Diario Oficial de la República, Santa Fe de Bogotá, Colombia, agosto 26:24.
20. Monsanto, GT. s.f. Roundup herbicida de Monsanto: manual técnico. Guatemala. 16 p.
21. Ortiz Garzo, JM. 2003. Evaluación de tres productos químicos a tres dosis aplicados como madurante en caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.), en el departamento de Escuintla. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 80 p.
22. Portillo, FN. 1999. Evaluación de tres sulfonilureas solas y con glifosato, como inhibidoras de flor y su efecto en el rendimiento de a caña de azúcar (*Saccharum* spp.) en Escuintla. EPSA Investigación Inferencial. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 65 p.
23. Rodríguez, NM. s.f. Calidad de agua y agroquímicos (en línea). Guatemala, Agronort Insumos Agropecuarios. Consultado 20 ago 2008. Disponible en <http://www.agronort.com/informacion/calidaagua.html>

24. Vásquez Quintero, H; Arcila Arias, J. 1984. Análisis de la aplicación comercial de madurantes en el Ingenio Risaralda. *In* Congreso de la Sociedad Colombiana de Técnicos de la Caña de Azúcar (1, 1984, CO). Cali, Colombia, TECNICAÑA. p. 10-20.
25. Ventura Hernández, RR. 1997. Estimación de pérdidas de sacarosa en caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) por efecto de la infestación de barrenadores. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 36 p.
26. Villegas T, F. 1992. Avances de la investigación con madurantes. Cali, Colombia, CENICAÑA. 18 p. 50 (Documento de trabajo no. 265).
27. Villegas T, F; Archila A, J. 1995. Uso de madurantes. *In* Cassalet, C; Torres, J; Isaacs, C (eds.). El cultivo de la caña en la zona azucarera de Colombia. Cali, Colombia, CENICAÑA. p. 315-335.
28. Villegas T, F; Buenaventura Osorio, CE. 1984. Aplicación de madurantes químicos para aumentar la producción de azúcar en el valle del Cauca, Cali. Cali, Colombia, CENICAÑA. 29 p. (Documento de trabajo no. 045).
29. Villegas T, F; Torres, JS; Besosa, R; Gaviria, LF; Domínguez, JC. 2000. Respuesta de la variedad CC 85-92 a los madurantes. *In* Congreso Colombiano de la Asociación de Técnicos de la Caña de Azúcar (5, 2000, CO). Cali, Colombia, CENICAÑA. 21 p (Documento de trabajo no. 442).

2.10. ANEXOS

2.10.1. Madurantes

Etiquetas de los productos comerciales con información importantes de los madurantes no herbicidas y madurantes no herbicidas.

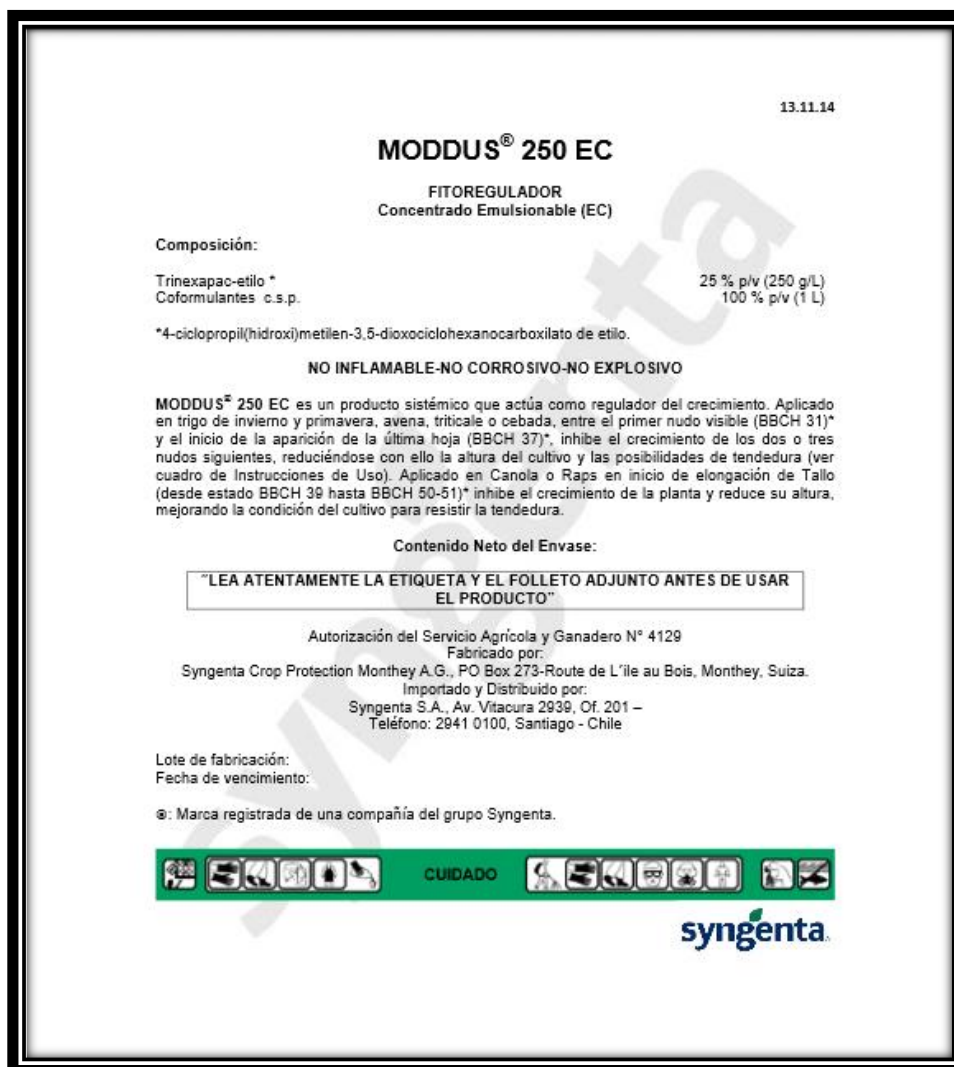
2.10.1.1. Curavial



Fuente: Duwest, 2016

Figura 15A. Etiqueta comercial de madurante Curavial Dupont.

2.10.1.2. Moddus



Fuente: Syngenta, 2016

Figura 16A. Etiqueta comercial de fitoregulador Moddus 250 Ec.

2.10.1.3. Roundup



Roundup® UltraPlus

Roundup® UltraPlus es el nuevo herbicida líquido de Monsanto, que proporciona la máxima eficacia y la mayor consistencia en resultados.

- ✓ Consistencia en resultados
- ✓ Mayor eficacia
- ✓ Adecuado para todo tipo de usos

Contra las malas hierbas, Roundup® UltraPlus cuenta con una formulación única que brinda una compatibilidad mejorada y mayores ventajas de consistencia en el cuidado de los cultivos.



+ MÁS INFO

Fuente: Monsanto, 2016

Figura 17A. Etiqueta comercial de herbicida Roundup.

2.10.2. Simulador aéreo para aplicación de tratamientos en los ensayos



Fuente: Elaboración propia, 2016

Figura 18A. Simulador de aspersión aérea en cultivo de caña.



3. CAPÍTULO III

SERVICIOS REALIZADOS EN EL ÁREA DE INVESTIGACIÓN AGRÍCOLA, DIVISIÓN DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO AGRÍCOLA, INGENIO MAGDALENA S.A., LA DEMOCRACIA ESCUINTLA, GUATEMALA.

3.1. ANTECEDENTES

Los servicios prestados a una empresa pretenden solucionar problemáticas que estén afectando en determinado momento y estos tienen como objetivo contribuir al registro de información agronómica, del departamento de Biotecnología Magdalena (BIOMAG), división de investigación y desarrollo agrícola, Ingenio Magdalena. Como primer servicio se realizó la descripción del efecto de nivel freático y tiempo de exposición en el desarrollo del cultivo de caña de azúcar (*Sacharum officinarum*) debido a que el 60% de las fincas productoras se encuentran ubicadas el departamento de Escuintla, y que presentan el nivel freático en la superficie del suelo lo que provoca inundaciones o anegamiento, esto da como resultado pérdidas de un 30% de la producción de las fincas afectadas. La planta de caña de azúcar creciendo en una condición de suelo inundado, o con contenidos de humedad a tensiones menores de 1/3 de atmósfera, es inducida a entrar en letargo o dormancia de su sistema rizomatoso (macolla) y radicular, produciéndose incluso la muerte de gran cantidad de raíces y raicillas al establecerse la condición de anegamiento. Como mecanismo de defensa, más bien de adaptación de la planta, se incita la formación de un sistema radicular adventicio a partir de los entrenudos inferiores más cercanos a la superficie del agua o suelo inundado, produciéndose una disminución generalizada de los procesos metabólicos del vegetal, pero con sus células totalmente activas y aptas para realizar todas sus funciones vitales. (2,3,4)

El segundo servicio consistió, en la evaluación del efecto de un fungicida sistémico (Triadimenol) y un regulador de crecimiento (Etefon) sobre la producción de

caña de azúcar (*Sacharum officinarum*) en la región oriente con el objetivo de incrementar la brotación de yemas en los esquejes debido que la variedad CG 98-46 representa un 70% del total del cultivo y se desea utilizar otras técnicas para mejorar el porcentaje de brotación (90%) para dicha región. El ciclo vegetativo de la caña de azúcar comprende tres etapas que, con ligera variante de acuerdo con la variedad, se definen así: la primera corresponde al desarrollo de las cepas que va desde la germinación o brotación hasta que el campo cierra (5 a 6 meses de edad); la segunda comprende la etapa de formación de sacarosa y se extiende del final de la primera hasta el inicio de la maduración; la tercera etapa es la maduración propiamente, la que se inicia aproximadamente a los 9 meses de edad. Donde la primera etapa va a representar la cantidad de plantas que van a producir azúcar durante el proceso. (5)

El tercer servicio, fue la evaluación del efecto de la densidad de siembra de la variedad CG 98-46 de caña de azúcar sobre la producción en toneladas de caña por hectárea en la región oriente como objetivo principal aumentar la producción a través del incremento poblacional, la capacidad de la planta de caña para producir sacarosa depende de la variedad, la densidad, el manejo del cultivo, y de los factores climáticos como precipitación, luminosidad y oscilación de la temperatura. El conocimiento de estos factores y sus efectos en la acumulación de sacarosa y otros productos, permitirá un manejo eficiente del cultivo y una mayor producción a nivel de campo y fábrica. (7)

3.2. DESCRIPCIÓN DEL EFECTO DE NIVEL FREÁTICO Y TIEMPO DE EXPOSICIÓN EN EL DESARROLLO DEL CULTIVO DE CAÑA DE AZÚCAR (*Sacharum officinarum*).

3.2.1. Objetivo

- Describir el efecto de nivel freático y tiempo de exposición en el desarrollo sobre la producción de caña de azúcar.

3.2.2. Metodología

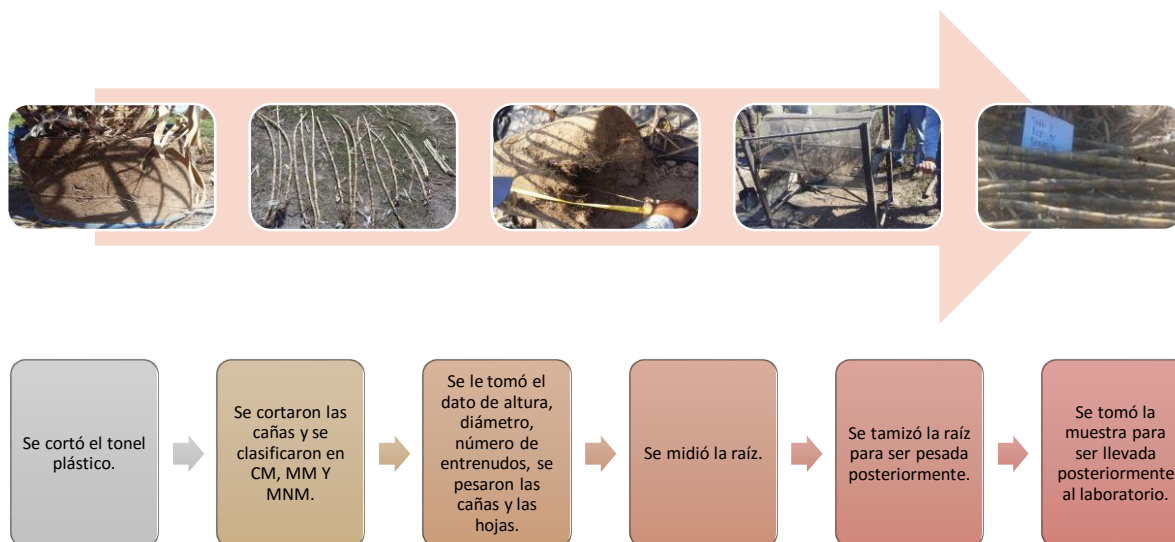
- Se utilizó un diseño experimental de bloques al azar.
- Se realizaron 12 tratamientos con tres bloques cada uno.
- Los días de exposición a saturación fueron: 45 días, 90 días, 135 días, 150 días en los niveles de drenaje consistieron en: 0 cm (100% de saturación), 25 cm (75% de saturación), 50 cm (50% de saturación); cada sub bloque de nivel freático tenía su respectivo testigo con una lámina de reposición diaria de 5ml y un nivel de 75cm (25% de saturación).
- Los tratamientos expuestos a saturación después del tiempo establecido fueron drenados en la parte inferior del tonel en el contorno del mismo, en verano fueron regados con una lámina de 5ml diarios.
- Se montó el ensayo de la siguiente manera, ver figura 19:



Fuente: Elaboración propia, 2016.

Figura 19. Simulador de aspersión aérea en cultivo de caña.

El proceso de cosecha se llevó a cabo de la siguiente forma:



Fuente: Elaboración propia, 2016.

Figura 20. Simulador de aspersión aérea en cultivo de caña.

3.2.3. Resultados

Se percibe una baja población porque la planta no recibe oxígeno, produciendo una asfixia en las raíces debido a la falta del intercambio gaseoso, obteniendo como resultado individuos con tallos que no logran llegar a la maduración con la calidad que se requieren debido a las condiciones en las que se encuentran. Cuando las condiciones de saturación persisten, las raíces y los microorganismos del suelo agotan el oxígeno. Entonces aparecen las condiciones de hipoxia (déficit de oxígeno) en la zona radicular, y las plantas se van afectando, dependiendo de su sensibilidad, ver figura 21.



Fuente: Elaboración propia, 2016.

Figura 21. Plantas de caña con hipoxia.

Al presentarse una saturación de agua en el suelo, la concentración de oxígeno se reduce y la de CO₂ aumenta. Los procesos fisiológicos de la raíz se afectan y producen una disminución en el desarrollo radical, en la absorción de agua y en los nutrimentos. La falta de oxígeno produce una reducción apreciable en el rendimiento.

Por lo general la vida útil de la plantación es menor comparada con secciones bien drenadas. El número y longitud de los tallos y el rendimiento de la caña son mayores en áreas con buen drenaje en comparación con las secciones saturadas con agua.

Es frecuente, a causa del estímulo producido por el exceso de humedad, que se formen raíces adventicias, que sirven de intercambio gaseoso. El exceso de agua impide la maduración de la caña, si la falta de aireación del suelo persiste el jugo se deteriora, inhibe la germinación, el enraizamiento y reducir la población de tallos.

El estrés hídrico en sus extremos, exceso o falta de agua produce efectos similares como: baja población, con diámetros relativamente pequeños, emergencia de raíces adventicias, baja altura de la planta esto se debe a las alteraciones que afectan la expansión foliar, el desarrollo radicular, limitando la absorción de agua y nutrientes, la actividad fotosintética debido a que son factores que restringen soberanamente el crecimiento.

Cuando hay un mal drenaje produce una erosión hídrica, la erosión hídrica es el proceso mediante el cual el suelo y sus partículas son separados por el agua. La degradación de las tierras, pérdida del recurso suelo, es el resultado de uno o varios procesos que ocasionan la pérdida total o parcial de su productividad.

Estos procesos pueden ser físicos, químicos o biológicos.



Fuente: Elaboración propia, 2016.

Figura 22. Erosión hídrica por el drenaje.

Erosión laminar: Se da por el arrastre uniforme de la capa superficial del suelo. Es un proceso gradual y acumulativo, perceptible solo en el tiempo cuando se evidencia por los parches en donde aflora el horizonte sub-superficial una vez se ha perdido el primer horizonte que es el horizonte agrícola.

Erosión en cárcavas: Corresponde al grado más avanzado de los procesos erosivos. Cuando las aguas de escorrentía no son controladas, el proceso de socavamiento se vuelve dinámico en sí mismo en el sentido en que la cárcava comienza a agrandarse hacia la parte alta de la pendiente. En estos casos se les da el nombre de cárcavas remontantes.



Fuente: Elaboración propia, 2016.

Figura 23. Erosión en cárcavas por el drenaje.

En saturación la falta de aire es total, debido a la exposición a la saturación en diferentes días en los tratamientos saturados se dió una compactación. En los suelos saturados se produce un aumento de la densidad aparente que provoca una compactación debido al peso de agua sobre el suelo. Mientras mayor fue la exposición a los días de saturación el efecto de compactación fue mayor.



Fuente: Elaboración propia, 2016.

Figura 24. Compactación del suelo a los 45 días.



Fuente: Elaboración propia, 2016.

Figura 25. Compactación del suelo a los 90 días.

3.2.4. Evaluación

Se pudo observar los efectos en la planta de caña de azúcar por la disminución del oxígeno, provocando la formación de raíces adventicias, que sirven de intercambio gaseoso, a causa del estímulo producido por el exceso de humedad, impide la maduración de la caña, el jugo se deteriora, reduce la población de tallos molederos e inhibe la germinación y el enraizamiento.

3.3. EVALUACIÓN DEL EFECTO DE FUNGICIDA SISTÉMICO (TRIADIMENOL) Y MADURANTE QUÍMICO (ETEFON) SOBRE LA PRODUCCIÓN DE BROTES DE CAÑA DE AZÚCAR (*Sacharum officinarum*) VARIEDAD CG 98-46 EN LA REGIÓN ORIENTE.

3.3.1. Objetivos

- Cuantificar el incremento de la brotación de yemas de caña de azúcar con la aplicación de Etefon y Triadimenol.
- Evaluar el porcentaje de brotación sobre el total de las yemas de caña de azúcar utilizadas con la aplicación de Etefon (prep 720) y Triadimenol (Bayfidan).

3.3.2. Metodología

- Se evaluaron 3 tratamientos y un testigo absoluto, en un diseño experimental de bloques a azar con 4 repeticiones por tratamiento. Las unidades experimentales fueron de 4 surcos de ancho por 10 metros de largo.
- Se pesaron las respectivas dosis por surco para una mejor distribución y aplicación.
- Se trasladaron al campo debidamente identificados cada uno de los tratamientos ya pesados.
- Se realizó la aplicación.
- Se contó la población a los 6 meses de edad del cultivo

Cuadro 7. Tratamientos aplicados a caña de azúcar.

Tratamientos	Dosis	Aplicación	Producto
T1	1 lt/ha	Al Suelo	Etefon (Prep)
T2	20 kg/ha	Al Suelo	Triadimenol (Bayfidan)
T3	1 lt/ha, 20 kg/ha	Al Suelo	Etefon + Triadimenol
T4	-----	-----	Testigo

Fuente: Elaboración propia, 2016.

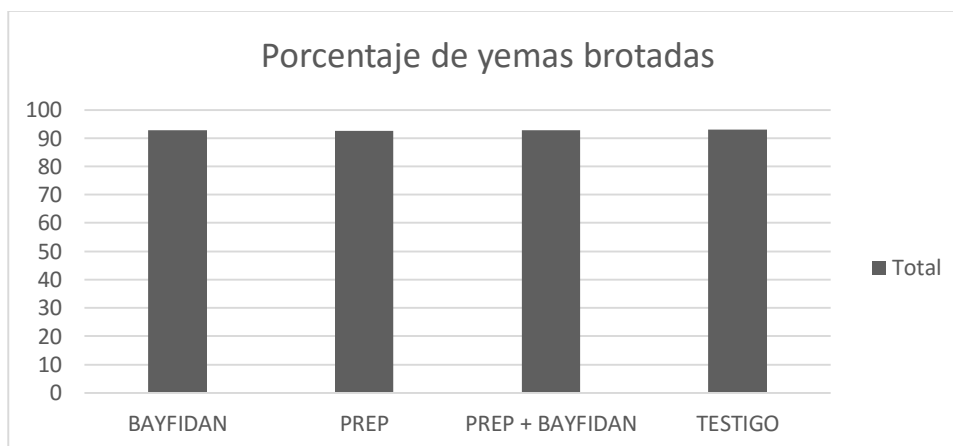
3.3.3. Resultados

En caña de azúcar la aplicación del regulador de crecimiento (Etefon) y fungicida (Triadimenol) no tienen ningún efecto en la brotación de yemas para la variedad CG 98-46 y con las condiciones climáticas y edáficas presentes de dicha evaluación, ver cuadro 8.

Cuadro 8. Tratamientos aplicados a caña de azúcar.

Tratamiento	Promedio de % Yemas Brotadas
BAYFIDAN	93
PREP	93
PREP + BAYFIDAN	93
TESTIGO	93

Fuente: Elaboración propia, 2016.



Fuente: Elaboración propia, 2016.

Figura 26. Porcentaje de yemas brotadas de caña de azúcar.

3.3.4. Evaluación

Los datos obtenidos de brotación de las yemas de la caña de azúcar fueron datos tomados con mucha precisión y estos posteriormente se analizaron. Se pudo observar que ninguno de los tratamientos produjo un efecto en la brotación de yemas sobre la semilla de caña de azúcar.

3.4. EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA DENSIDAD DE SIEMBRA DE LA VARIEDAD CG 98-46 DE CAÑA DE AZÚCAR (*Sacharum officinarum*) SOBRE LA PRODUCCIÓN EN TONELADAS DE CAÑA POR HECTÁREA EN LA REGIÓN ORIENTE.

3.4.1. Objetivo

- Cuantificar el incremento de la población de caña de azúcar en función de la densidad de siembra.
- Evaluar la respuesta que tienen las densidades de siembra sobre la producción en Toneladas de caña por hectárea sobre el cultivo de caña de azúcar.

3.4.2. Metodología

- Se evaluaron cuatro densidades, en un diseño experimental de bloques a azar con 4 repeticiones por tratamiento. Las unidades experimentales fueron de 4 surcos de ancho por 10 metros de largo.
- Las densidades de Siembra son de 1, 2, 3 y 4 cañas.
- La densidad D1 se sembró en cadena y las otras densidades en banda.
- Establecimiento de ensayo.
- Manejo agronómico del ensayo.
- Toma de datos (Se contó la población a los 6 meses de edad del cultivo)
- Cosecha de ensayo
- Toma de datos (TCH)

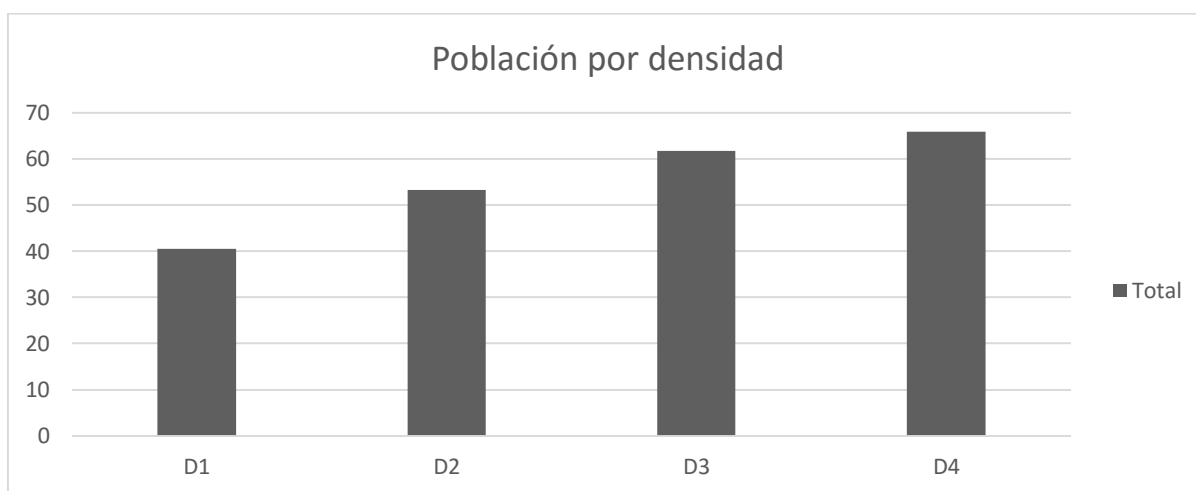
3.4.3. Resultados

Presenta una mayor diferencia entre la densidad de 3 semillas de caña de azúcar con la de 2 semillas de caña de azúcar que representa 9 tallos mayor y con la de 1 semilla de caña de azúcar de 21 tallos mayor pero la diferencia entre la densidad de 3 y de 4 semillas de caña de azúcar que equivale a 2 tallos mayor.

Cuadro 9. Población por surco de 10 metros.

Densidad	Población por surco de 10m
D1	41
D2	53
D3	62
D4	66

Fuente: Elaboración propia, 2016.



Fuente: Elaboración propia, 2016.

Figura 27. Tallos por densidad.

Si existe una diferencia altamente significativa sobre las densidades de siembra formándose 3 grupos en los cuales la menor densidad es la de 1 semilla de caña, el segundo grupo contiene la densidad de siembra de 2 semillas de caña de azúcar y el mejor grupo es el que contiene a la densidad 3 y 4, lo que dice es la densidad de 3 estadísticamente es similar a la densidad de 4 cañas solo que en la de 3 se reduce el

costo de transporte que la de 4 y por consiguiente económicamente es mejor utilizar la densidad de 3 semillas de caña, ver cuadro 10.

Cuadro 10. Análisis de varianza

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	3322.69	3	1107.56	4.11	0.0321
Densidad	3322.69	3	1107.56	4.11	0.0321
Error	3235.75	12	269.65		
Total	6558.44	15			

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=34.47288

Error: 269.6458 gl: 12

Densidad Medias n E.E.

D1	66.75	4	8.21	A
D2	82.50	4	8.21	A B
D4	91.50	4	8.21	A B
D3	106.50	4	8.21	B

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

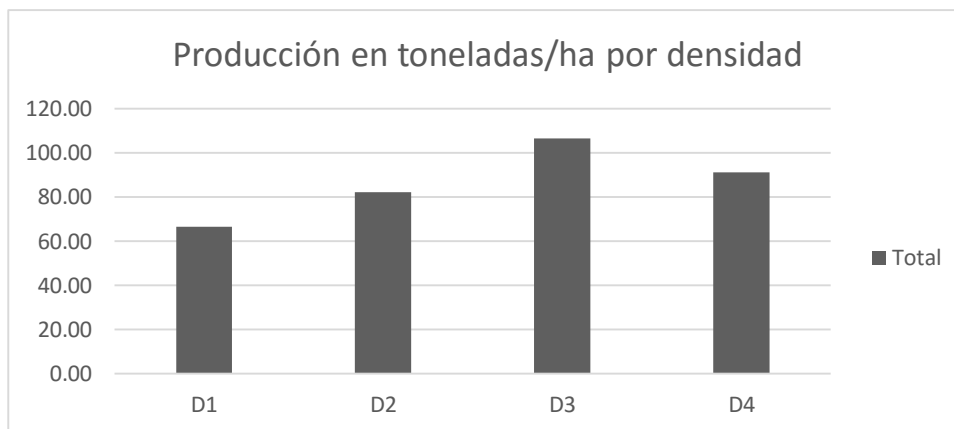
Fuente: Elaboración propia, 2016.

La producción en toneladas de caña por hectárea fue mayor en la densidad de 3 semillas de caña que en las otras densidades de siembra debido a que la población de las densidades de 1 y 2 semillas de caña no desarrollaron la población que la de 3 semillas de caña, mientras que la diferencia entre las densidades de siembra de 3 y 4 semillas de cañas es de solo 2 tallos fue menor la competencia que permitió un mejor desarrollo en el cultivo de caña de azúcar que se expresó en una mejor producción, ver cuadro 11.

Cuadro 11. Producción en toneladas por hectárea.

Densidad	Producción en Ton/ha MT
D1	66.78
D2	82.27
D3	106.62
D4	91.36

Fuente: Elaboración propia, 2016.



Fuente: Elaboración propia, 2016.

Figura 28. Producción en toneladas/ha por densidad.



Fuente: Elaboración propia, 2016.

Figura 29. Cosecha de ensayo de densidad de siembra.

3.4.4. Evaluación

Los datos obtenidos de la densidad de siembra sobre la población de tallos de surcos y producción de toneladas de caña de azúcar, fueron datos tomados con mucha precisión y estos posteriormente se analizaron. Se pudo observar que el tratamiento que obtuvo los mejores resultados fue el tratamiento con la densidad de 3 semillas de cañas de azúcar.

3.5. CONCLUSIONES

1. Unos de los efectos en la planta de caña de azúcar es la formación de raíces adventicias, que sirven de intercambio gaseoso, a causa del estímulo producido por el exceso de humedad, Impide la maduración de la caña, el jugo se deteriora, reduce la población de tallos molederos e inhibe la germinación y el enraizamiento.
2. Se pudo determinar que la aplicación de los productos en esta variedad no expresó mejoras en la brotación de las yemas de la caña de azúcar.
3. La población fue mayor la diferencia entre las densidades 3 con respecto de las densidades de 1 y 2 que la diferencia de las densidades de 3 y 4 semillas de caña. Y se obtuvo mayor producción con la densidad de 3 semillas de caña que con las densidades de 1,2 y 4 semillas de caña.

3.6. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda no aplicar productos para el estímulo de la brotación de yemas en caña de azúcar y utilizar una densidad de siembra de 3 semillas de caña.
2. En suelos con problemas de exceso de humedad es necesario realizar un sistema de drenaje para reducir los efectos del exceso de humedad.

3.7. BIBLIOGRAFIA

1. Archila Árias, J; Villegas T, F. 2003. Madurantes en caña de azúcar: manual de procedimientos y normas para su aplicación. Cali, Colombia, CENICAÑA. 66 p. (Serie Técnica no. 32).
2. ASAZGUA (Asociación de Azucareros de Guatemala, GT). 2014. Economía (en línea). Guatemala. Consultado 20 ago 2015. Disponible en <http://www.azucar.com.gt/economia3.html>
3. Barneond Adrover, HR. 2002. Reseña histórica de las aplicaciones de madurante en el ingenio Tierra Buena, Nueva Concepción, Escuintla, período 1994-1999. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 57 p.
4. Buenaventura Osorio, CE. 1986. Evaluación de la aplicación de madurantes químicos en caña de azúcar en Colombia. Cali, Colombia, CENICAÑA. 20 p. (Documento de Trabajo no. 090).
5. CENGICAÑA (Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar, GT). 2004. Composición varietal de la agroindustria azucarera en Guatemala. Guatemala, CENGICAÑA, Boletín Técnico no. 1, 60 p.
6. Cid, J Del. 2015. Ubicación de fincas del Ingenio Magdalena (correo electrónico). Escuintla, Guatemala, Ingenio Magdalena, SIG.
7. IMSA (Ingenio Magdalena, GT). 2014. Zafras hasta 2014 (en línea). Guatemala. Consultado 27 mar 2011. Disponible en www.imsa.com.gt