

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE AGRONOMÍA  
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGRONÓMICAS



**SISTEMATIZACIÓN DE LAS EXPERIENCIAS EN LA APLICACIÓN COMERCIAL DE LA MADURACIÓN INDUCIDA EN CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum officinarum* L.), DE LAS ZAFRAS 2007-2008 A 2011-2012, EN LA ZONA DE RÍO LINDO, LA GOMERA, ESCUINTLA, GUATEMALA, C.A.**

**CARLOS ENRIQUE ECHEVERRÍA PÉREZ**

**GUATEMALA, OCTUBRE 2012**

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE AGRONOMÍA  
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGRONÓMICAS

SISTEMATIZACIÓN DE LAS EXPERIENCIAS EN LA APLICACIÓN COMERCIAL  
DE LA MADURACIÓN INDUCIDA EN CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum  
officinarum* L.), DE LAS ZAFRAS 2007-2008 A 2011-2012, EN LA ZONA DE RÍO  
LINDO, LA GOMERA, ESCUINTLA, GUATEMALA, C.A.

DOCUMENTO DE GRADUACIÓN

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

POR

CARLOS ENRIQUE ECHEVERRÍA PÉREZ

EN EL ACTO DE INVESTIDURA COMO  
INGENIERO AGRÓNOMO  
EN EL GRADO ACADÉMICO DE LICENCIADO

GUATEMALA, OCTUBRE 2012

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**

**RECTOR MAGNÍFICO:**

Dr. CARLOS ESTUARDO GÁLVEZ BARRIOS.

**JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTA DE AGRONOMÍA**

DECANO	Dr. LAURIANO FIGUEROA.
VOCAL PRIMERO	Dr. ARIEL ABDERRÁMAN ORTÍZ LÓPEZ
VOCAL SEGUNDO	Ing. Agr. M. Sc. MARINO BARRIENTOS GARCÍA
VOCAL TERCERO	Ing. Agr. M. Sc. OSCAR RENÉ LEIVA RUANO
VOCAL CUARTO	Br. ANA ISABEL FIÓN RUIZ
VOCAL QUINTO	Br. LUIS ROBERTO ORELLANA LÓPEZ
SECRETARIO	ING. AGR. CARLOS ROBERTO ECHEVERRÍA ESCOBEDO

Guatemala, octubre 2012

Guatemala, octubre 2012

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

Honorables miembros:

De conformidad con la Ley Orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a vuestra consideración, el trabajo de graduación, titulado:

**Sistematización de las experiencias en la aplicación comercial de la maduración inducida en caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.), de las zafras 2007-2008 a 2011-2012, en la zona de Río Lindo, La Gomera, Escuintla, Guatemala, C.A..**

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

Atentamente.

Carlos Enrique Echeverría Pérez.

## **ACTO QUE DEDICO**

**A:**

- DIOS** Por darme la vida y derramar muchas bendiciones, fortaleza omnipresente en mi camino.
- MI PADRE** José Luis Echeverría Argueta (QEPD), por guiarme y disciplinarme en los primeros años de vida, que me marcaron para siempre la forma de actuar.
- MI MADRE** Berta Andrea Pérez (QEPD), por que su esfuerzo y ejemplo por salir adelante con sus hijos, es fuente de inspiración y motivación, como la importancia del trabajo y los valores para conseguir los logros.
- MI ESPOSA** Dilia Patricia Roldan de Echeverría, por su amor y apoyo a mi desarrollo personal y profesional siempre.
- MIS HIJOS** Karla Andrea y José Carlos, por ser siempre una chispa en mi vida, que encienden mi motivación y me brindan alegrías, y como un ejemplo para ellos.
- MIS HERMANOS** Manuel Humberto (QEPD), Julio Cesar, José Leonel, Edgar Danubio y José Luis, por su apoyo, aprecio, amor y respeto que nos profesamos.
- MIS AMIGOS** Que siempre han estado allí en los buenos y los malos momentos de manera incondicional y desinteresada.

## **DOCUMENTO QUE DEDICO**

**A :**

### **ENCA**

Centro de enseñanza donde inicie mi formación agronómica.

### **FAUSAC**

Por sus enseñanzas y formación, donde se me dio la oportunidad de tener un grado académico.

### **MADRE TIERRA**

Por la confianza y la oportunidad de desarrollarme personal y profesionalmente dentro de la organización, y su motivación hacia el logro.

### **A MIS COMPAÑEROS DE TRABAJO**

Por su compañerismo y apoyo siempre.

### **A MIS ASESORES**

Por su aporte ha este trabajo.

## **AGRADECIMIENTOS**

### **A MIS ASESORES:**

Un especial agradecimiento a su apoyo y seguimiento al desarrollo de este trabajo, y por no dejarme claudicar.

Ing. Agr. M. Sc. Manuel de Jesús Martínez Ovalle

Ing. Agr. Juan Alberto Herrera Ardón e

Ing. Agr. Cesar Castillo.

### **A MADRE TIERRA:**

Por permitir utilizar la información y registros para la elaboración de este trabajo, y por el apoyo brindado para este logro. En especial a:

Ing. Agr. Max Zepeda Chavarría.

## ÍNDICE

CONTENIDO	PÁGINA
RESUMEN .....	viii
I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	3
III. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA .....	4
3.1 Marco Conceptual .....	4
3.1.1. Maduración de la caña de azúcar .....	4
3.1.1.1. Origen y genética de la caña de azúcar .....	4
3.1.1.2. Fases fenológicas de la caña de azúcar .....	4
3.1.1.3. Proceso de maduración fisiológica de la caña de azúcar ...	6
3.1.2. Factores que influyen en la maduración de la caña de azúcar .	7
3.1.2.1. Factores climáticos .....	7
3.1.2.1.1. Lluvia .....	7
3.1.2.1.2. Temperatura .....	9
3.1.2.2. Factores de Manejo .....	15
3.1.2.2.1. Fertilización .....	15
3.1.2.2.2. Riego .....	16
3.1.2.2.3. Variedad .....	16
3.1.2.2.4. Edad de cosecha .....	17
3.1.2.2.5. Plagas y enfermedades .....	17
3.1.3. Maduración inducida de la caña de azúcar .....	18
3.1.3.1. Historia del uso de los madurantes .....	19
3.1.3.2. Principales productos utilizados como madurantes .....	20
3.1.3.2.1. Glifosato .....	21
3.1.3.2.2. Graminicidas .....	22
3.1.3.2.3. Ethyl trinexapac .....	22
3.1.3.3. Factores a considerar en la administración de los Madurantes .....	20
3.1.3.3.1. Épocas de aplicación .....	23



<b>CONTENIDO</b>	<b>PÁGINA</b>
3.1.3.3.2. Edad a la aplicación .....	23
3.1.3.3.3. Textura del Suelo .....	23
3.1.3.3.3. Humedad de los suelos .....	23
3.1.3.4. Variedad .....	24
3.2. MARCO REFERENCIAL .....	25
3.2.1. Ubicación geográfica .....	25
3.2.2. Características climáticas .....	27
3.2.2.1. Lluvia .....	27
3.2.2.2. Temperatura .....	28
3.2.2.3. Balance hídrico .....	29
3.2.2.4. Vientos .....	29
3.2.2.5. Radiación .....	30
3.2.2.6. Humedad relativa .....	30
3.2.3. Suelos .....	31
3.2.3.1. Entisoles .....	31
3.2.4.1.1. Consociación Balcanes BA <sub>P</sub> .....	31
3.2.3.1.2. Consociación El agrario EA <sub>P</sub> .....	32
3.2.3.2. Molisoles .....	32
3.2.3.2.1. Complejo Pacífico-Balcanes (PD.BA) <sub>P</sub> .....	32
3.2.3.3. Andisoles .....	33
3.2.3.3.1. Consociación Tropicana TF <sub>P</sub> .....	33
3.2.3.4. Fertilidad .....	33
3.2.4. Clasificación de zonas de vida .....	34
IV. OBJETIVOS .....	35
4.1. Objetivo general .....	35
4.2. Objetivos específicos .....	35
V. METODOLOGÍA .....	36
5.1. Metodología general .....	36
5.1.1. Base de Datos .....	36
5.1.2. Registros climáticos .....	36

<b>CONTENIDO</b>	<b>PÁGINA</b>
5.1.3. Revisión de los resultados experimentales .....	36
5.2. Metodología específica .....	37
5.2.1. Áreas aplicadas .....	37
5.2.2. Productos aplicados .....	37
5.2.3. Épocas de aplicación .....	37
5.2.4. Dosis .....	37
5.2.5. Días a la cosecha .....	38
5.2.6. Variedades .....	38
5.2.7. Análisis de la mejora .....	38
VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	39
6.1. Áreas aplicadas .....	39
6.2. Productos aplicados .....	40
6.3. Épocas de aplicación .....	41
6.4. Dosis .....	44
6.5. Días a la cosecha .....	47
6.6. Respuesta de las variedades .....	50
6.7. Análisis de la mejora .....	53
6.7.1. Daños por el clima .....	54
6.7.2. Soporte de geo- referenciación .....	54
6.7.3. Dosis única .....	54
6.7.4. Retroalimentación del comité de madurantes a zona de producción .....	55
6.7.5. Relación con las empresas prestadoras de servicios .....	55
6.7.6. Seguimiento a las aplicaciones .....	55
6.7.7. Daño al cultivo .....	56
6.7.8. Relación zonas de producción- departamento de madurante .....	56
VII. CONCLUSIONES .....	58
VIII. RECOMENDACIONES .....	60
IX. BIBLIOGRAFÍA .....	61

No.	ÍNDICE DE CUADROS DESCRIPCIÓN	PÁGINA
Cuadro 1	Comportamiento de la temperatura en el período de enero 2006 abril 2012 de la Estación Meteorológica San Antonio El Valle (MAG-SAV) -91.476996, 13.995364 10 msnm. Fuente: CENGICAÑA, 2012c	28
Cuadro 2	Comportamiento del viento en el período de enero 2006 abril 2012 de la Estación Meteorológica San Antonio El Valle (MAG-SAV) -91.476996, 13.995364 10 msnm. Fuente: CENGICAÑA, 2012c.	29
Cuadro 3	Comportamiento de la radiación y brillo solar en el período de enero 2006 abril 2012 de la Estación Meteorológica San Antonio El Valle (MAG-SAV) -91.476996, 13.995364 10 msnm. Fuente: CENGICAÑA, 2012c.	30
Cuadro 4	Comportamiento de humedad relativa en el período de enero 2006 abril 2012 de la Estación Meteorológica San Antonio El Valle (MAG-SAV) -91.4769, 13.9953 10 msnm. Fuente: CENGICAÑA, 2012c.	31
Cuadro 5	Áreas aplicadas en los últimos 5 años en la zona de Río Lindo con Madurante.	39
Cuadro 6	Comparación de medias entre los diferentes productos aplicados en la zona de Río Lindo en los períodos 2007/2008 a 2011/2012.	41
Cuadro 7	Comparación de medias entre los diferentes tercios de cosecha en la zona de Río Lindo en los períodos 2007/2008 a 2011/2012	43
Cuadro 8	Rangos de cosecha de porcentaje de las toneladas aplicadas con madurante en la zona de Río Lindo para los períodos 2007/2008-2011/2012.	48
Cuadro 9	Modelos lineales utilizadas para el cálculo del rango de cosecha de la caña aplicada con madurante en la zona de Río Lindo.	50
Cuadro 10	Rendimiento promedio en kg azúcar/tonelada para las principales variedades en la zona de Río Lindo para el período zafra 2007/2008 a 2011/2012 aplicadas con madurante.	51

<b>No.</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>PÁGINA</b>
Cuadro 11	Comparación del rendimiento promedio en kg azúcar/tonelada para las principales variedades en la zona de Río Lindo para el período 2007/2008-2011/2012 aplicadas con madurante.	52

## INDICE DE FIGURAS

<b>FIGURA</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>PÁGINA</b>
Figura 1	Fenológicas del Cultivo de la caña Gascho e Shih(1983). Fuente: Costa C; (2010)	5
Figura 2	Calendario pluviométrico anual de Guatemala. Fuente: O. Castro Loarca, Cengicaña.	8
Figura 3	Comportamiento de la lluvia acumulada en el rendimiento de azúcar. Fuente: Castro, OR. Suarez,A. 2012	9
Figura 4	Relación histórica general entre el rendimiento de azúcar y el comportamiento de la amplitud térmica en la zona cañera de Guatemala. Fuente: Castro, OR. 2010.	10
Figura 5	Relación general histórica del rendimiento de azúcar y el comportamiento de la amplitud térmica por cada mes de zafra. Zona cañera de Guatemala. Fuente: Castro, OR. 2010.	11
Figura 6	Comportamiento de la Amplitud térmica y libras de azúcar promedio de la zafra 2006/2007 a 2011/2012. Ingenio Madre Tierra. Fuente: Castro, OR. 2012.	12
Figura 7	Análisis de regresión con variables: temperatura mínima promedio de 30 días antes de la cosecha y rendimiento de azúcar en libras en lote 3060 de Ingenio La Unión. Fuente: Castro, OR; Suarez A. 2012.	13
Figura 8	Comportamiento Tmin °C y libras azúcar/tc de la zafra 2006/2007-2011/2012. Ingenio Madre Tierra. Fuente: Castro, OR. 2012.	14
Figura 9	Ubicación geográfica de la zona cañera de Guatemala, y la zona de Río Lindo, La Gomera, Escuintla. Fuente: Cengicaña.	25
Figura 10	Ubicación de la zona de Río Lindo, La Gomera, Escuintla en la cuenca del Río Coyolate. Fuente: Cengicaña.	26
Figura 11	Estratos altitudinales de la región cañera de Guatemala, ubicación de la zona de Río Lindo, La Gomera, Escuintla. Fuente: Cengicaña.	27
Figura 12	Comportamiento de la Lluvia en el Periodo de Enero 2006 Abril 2012 de la Estación Meteorológica San Antonio El Valle (MAG- SAV) -91.476996, 13.995364 10 msnm. Fuente: CENGICAÑA, 2012c.	28

<b>FIGURA</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>PÁGINA</b>
Figura 13	Productos aplicados como madurante del período 2007/2008 al 2011/2012 en Madre Tierra.	40
Figura 14	Comportamiento del rendimiento industrial en kg az. /ton métrica en la zona de Río Lindo, aplicado con madurante en el período 2006/2007 -2011/2011	42
Figura 15	Comportamiento de la amplitud térmica (A.T.) promedio mensual en °C en la zona de Río Lindo para el período de zafra 2007/2008 -2011/2012.	43
Figura 16	Respuesta de los cc/ton de glifosato aplicados como madurante en la zona de Río Lindo durante los períodos de zafra 2006/2007 – 2011/2012.	45
Figura 17	Respuesta de los cc/ton de glifosato aplicados como madurante en la zona de Río Lindo durante los períodos de zafra 2006/2007 – 2011/2012, para el primer tercio de cosecha.	46
Figura 18	Respuesta de los cc/ton de glifosato aplicados como madurante en la zona de Río Lindo durante los períodos de zafra 2006/2007 – 2011/2012, para el segundo tercio de cosecha.	46
Figura 19	Respuesta de los cc/ton de glifosato aplicados como madurante en la zona de Río Lindo durante los períodos de zafra 2006/2007 – 2011/2012, para el tercer tercio de cosecha.	47
Figura 20	Comportamiento del rendimiento en kg az/tm de acuerdo con los días a cosecha en la caña aplicada con glifosato en el período de 2007/2008-2011/2012.	49
Figura 21	Composición varietal en la zona de Río Lindo en el período del 2007/2008 al 2011/2012.	51
Figura 22	Respuesta de las 5 principales variedades a la aplicación de madurante en la zona de Río Lindo para el período 2007/2008 – 2011/2012	52
Figura 23	Diagrama clasificación de los factores que afectan la respuesta del madurante.	53

## RESUMEN

**Sistematización de las experiencias en la aplicación comercial de la maduración inducida en caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) de las zafra 2007-2008 a 2011-2012, en la zona de Río Lindo, La Gomera, Escuintla.**

**Systematization of the experiences in the commercial application of the induced ripening in sugar cane (*Saccharum officinarum* L.) of the harvest 2007-2008 to 2011-2012, in the area of Río Lindo, La Gomera, Escuintla.**

El cultivo de la caña de azúcar, en los últimos 11 años ha incrementado su productividad en toneladas métricas de azúcar por hectárea (TMA/ha), en 0.95, que es un incremento del 10 %, la producción de caña en toneladas métricas por hectárea (TM/ha), en 17.76, que representa un 21 % de incremento, por otra parte la concentración de azúcar expresada en porcentaje de sacarosa ha decrecido 1 % lo que representa una merma del 9.70 %.

Este comportamiento, se debe a la mejora en la producción por vía del tonelaje, esto es el resultado de una mejora en las variedades sembradas, áreas de riego, expansión hacia áreas de mayor productividad e incremento en los niveles de fertilización, mientras que la reducción en la concentración de sacarosa, representa una consecuencia del incremento en producción, por variedades con menor concentración, riego, áreas de menor maduración y niveles altos de nitrógeno.

Es por ello que la revisión del proceso de la maduración inducida en caña de azúcar, es relevante, puesto la que función de esta práctica es la mejora final de la concentración de sacarosa de los campos para la cosecha.

Se determinó la relevancia de los factores climáticos para la respuesta de la maduración inducida, siendo la Amplitud Térmica (AT), y la lluvia acumulada en los 30 días previos a la cosecha, los que modifican la respuesta de la maduración inducida.

En el proceso de planificación, los estimados de producción son un factor crítico en la efectividad de la respuesta de la maduración inducida, por que en función de esto se define la dosis y su variación afecta los días a la cosecha después de la aplicación.

Durante la operación, el control de la calidad de la aplicación, es otro factor determinante puesto que define la uniformidad de la maduración de los tallos y los

campos, como a su vez impacta con los daños que pueden producirse al rebrote del cultivo del ciclo siguiente.

Se determinó que existe una respuesta diferencial por variedades y tercios de cosecha, por lo cual se deben plantearse manejos diferentes para ambos casos, así como también el control que debe tenerse sobre los días después de la cosecha, para mantener el rendimiento en la parte alta de la curva de rendimiento, y estos se comportan diferentes en cada tercio de cosecha.

La dosificación no es un valor fijo, si no que se encuentra dentro de un rango óptimo entre 10 – 12 cc de glifosato/tonelada de caña, que debe manejarse de acuerdo con el tercio, textura de suelo y la variedad.

El producto de sal isopropil amino de glifosato es el más usado y el que presenta los resultados consistentes en el período evaluado, y las áreas aplicadas con este producto se han incrementado en los últimos períodos.

El seguimiento durante el proceso de aplicación y cosecha son relevantes para obtener los mejores resultados de la maduración inducida en caña de azúcar.



## I. INTRODUCCIÓN

El cultivo de la caña de azúcar es una de las fuentes de ingresos de divisas al país, según Asazgua en Enero 2010 ingresaron U.S. \$ 456.2 millones en divisas y para Junio de ese año se habían exportado 1 millón 372 mil toneladas métricas de azúcar, para el año 2009 según el Banco de Guatemala fueron U.S. \$ 204.6 lo cual ha representado un incremento del U.S. \$ 251.60 millones (CENGICAÑA 2012d).

Este crecimiento es el resultado del incremento de las áreas de cultivo y de una mejora en la tecnología de producción. Según el Boletín Estadístico de Cengicaña para la zafra 2000-2001 se cosecharon 179,471 hectáreas y para la zafra del período 2010-2011 fueron 231,505 hectáreas, lo que representa un crecimiento de un 29 % dentro de dicho período estabilizándose en el período de zafra 2008-2009. (CENGICAÑA 2012d).

Los componentes de la productividad se componen de dos variables que son el rendimiento en toneladas de caña por hectárea (TM/ha), y el rendimiento de azúcar expresado kilogramos de azúcar por toneladas (Kg/Tc), o en porcentaje de azúcar (%), el comportamiento de estas dos variables define el rendimiento de toneladas de azúcar por hectárea (TMA/ha); según el Centro de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar para el período de zafra del 2000-2001 a 2009-2010 la producción en toneladas de caña por hectárea ha subido de 84.64 TM/ha a 102.40 TM/ha lo que representa un incremento de 17.76 TM/ha que corresponde al incremento en la producción de un 21 % por las mejoras en tecnologías de variedades, riego y manejo del cultivo; pero por contraparte el rendimiento en sacarosa o azúcar, en el mismo período ha venido de 11.30 % a 10.30 % lo que representa una reducción de una unidad porcentual en el período que corresponde a una merma del 9.70 % en la concentración de sacarosa o azúcar de la caña, mientras que las toneladas métricas de azúcar por hectárea ha subido en el período en mención de 9.56 TMA/ha a 10.55 TMA/ha, con lo cual se puede ver que el incremento en la productividad se ha venido logrando por vía de la mejora en la producción de biomasa en los campos y no en la mejora de la calidad de la concentración de sacarosa (CENGICAÑA 2012d).

Esto comportamiento se debe mejorar, porque impacta los costos, principalmente el costo de transporte que es uno de los rubros más altos dentro de la estructura de costos, debido a que se está teniendo que transportar un mayor volumen de toneladas de caña con una menor concentración de azúcar. Dentro de las labores agrícolas, la aplicación de madurantes (maduración inducida), es una de las prácticas que se ejecuta para mejorar la concentración de sacarosa en la caña al momento de su cosecha, y en el presente trabajo, se buscó la sistematización de las experiencias comerciales de las ultimas cinco zafras, en afán de encontrar mediante el análisis e interpretación de los resultados, los puntos en los cuales se debemos realizar modificaciones o acciones de control, con la finalidad de retomar los resultados que anteriormente se obtenían.

## II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

Los incrementos en la producción de biomasa en toneladas de caña (TM/ha), se han logrado mediante la mejora en los sistemas de riego, incremento de las áreas bajo riego, cambios en la composición varietal e incrementos en los niveles de fertilización del cultivo, en Madre Tierra la producción para la zafra 2001-2002 fue de 90.45 TM/ha y para la zafra 2011-2012 fue 110.59 TM/ha que es un incremento de un 22 % en la producción (CENGICAÑA 2012d).

El rendimiento de sacarosa zafra 2006-2007 fue 11.85 % y para las zafra 2011-2012 el rendimiento fue 10.43 % lo que representó un decremento del 0.92 % en la concentración de azúcar de la caña cosechada, que equivale a una disminución del 8.09 % con respecto a hace 6 años (CENGICAÑA 2012d).

Es por eso que el análisis de una de las prácticas que debe brindar una mejora en la concentración de azúcar, como lo es la maduración inducida de la caña de azúcar (proceso de aplicación de madurantes), es uno de los procesos que se deben analizar y revisar para encontrar las oportunidades o acciones que se deben cambiar o replantear durante el proceso comercial de su gestión, puesto que a nivel experimental los resultados siguen mostrando los mismo resultados que de dicha práctica reportaba en las décadas de los años 80 y 90, pero que por la intensidad de la labor agrícola, las variaciones de suelo, clima, productividad, los cambios más reciente de la composición varietal y la expansión de las empresas no se están logrando los mejores resultados.

### III. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.

#### 3.1 Marco Conceptual

##### 3.1.1. Maduración de la caña de azúcar

###### 3.1.1.1. Origen y genética de la caña de azúcar

La caña de azúcar es una planta monocotiledónea, alógama y perenne originaria de las regiones de Indonesia y Nueva Guinea, de la Familia Poaceae, tribu Andropogonea y género *Saccharum*. Sus actuales cultivares son híbridos interespecíficos, en su constitución genética participan principalmente las especies **S. officinarum**, **S. spontaneum**, **S. sinense**, **S. barberi**, **S. robustum** y **S. edule** en diferentes proporciones, según Gupta et al citado por Almeida et al (Costa, C 2010). La Caña de azúcar moderna (híbridos **Saccharum spp**), es genéticamente un cultivo muy complejo por que son cruces inter-específicos donde existen cultivar con diferente número cromosómico, es por esta razón que, dependiendo de la cruce y el híbrido en cuestión, los cultivares modernos de la caña de azúcar son altamente poliploides (~ 12X) y aneuploides con ~ 120 cromosomas (Orozco, H et al 2012).

###### 3.1.1.2. Fases fenológicas de la caña de azúcar

La caña de azúcar presenta diferentes fases de desarrollo del cultivo varios autores como Humberth P citado por Orozco et al (2012), Castillo Torres (2004) Almeida citado por Costa C (2010), Castro, OR; (2012) concuerdan en cuatro etapas principales:

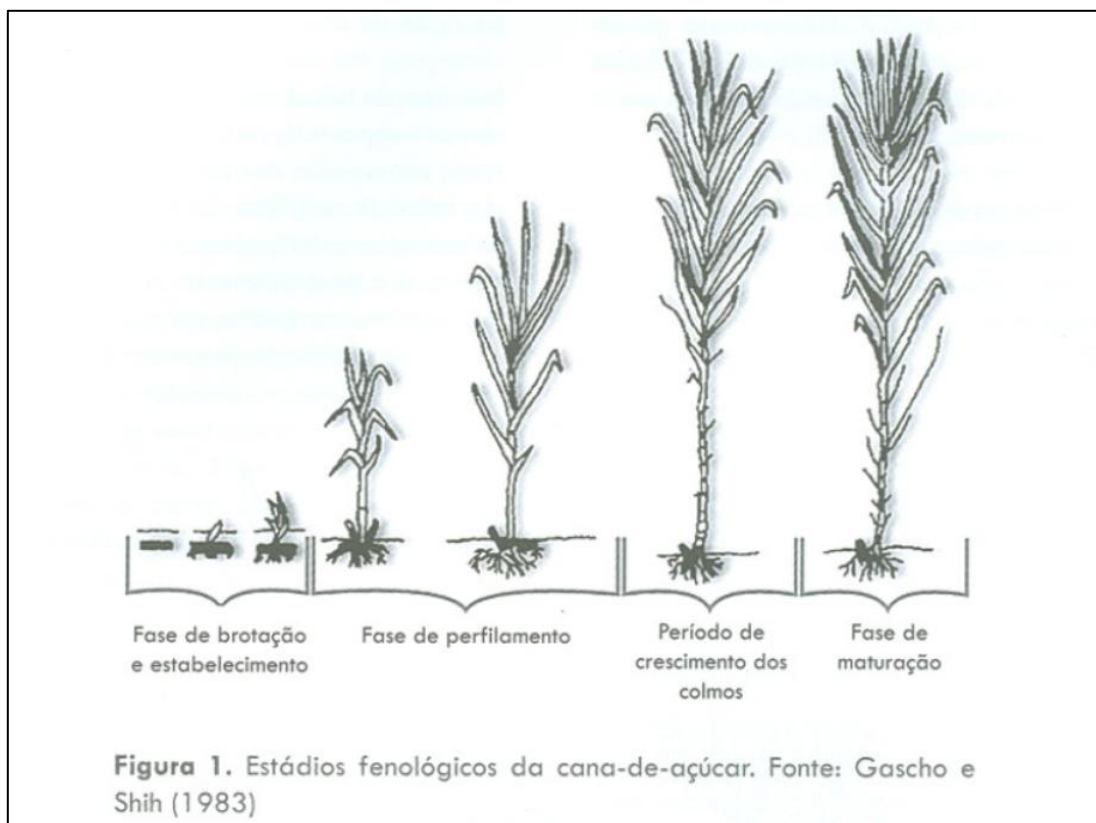
**Iniciación:** Comprende el período de la brotación de las “yemas” de los esquejes de la caña de azúcar o la brotación de las “yemas” de la cepa. De acuerdo con Castro y Montufar (Castro, OR; 2012), esta va desde la brotación hasta los 45 días después de la siembra.

**Macollamiento:** En esta etapa del desarrollo se presenta un desarrollo de la población y formación de la macolla, que es la estructura que continuara en el proceso de brotación nuevamente después del corte o la cosecha de la caña.

**Elongación:** Esta es la fase más importante en términos de crecimiento y desarrollo, así como en la acumulación de biomasa, en esta etapa el cultivo es más sensible a

condiciones desfavorables para la producción. Algunos autores subdividen esta fase en tres: Una de iniciación donde el crecimiento es lento, y luego una fase de crecimiento rápido donde es responsable por la acumulación del 75 % de la biomasa y luego otra donde nuevamente el crecimiento vuelve hacer lento. Castro, OR; (2012), indica que esta fase tiene una duración de 6 meses.

Maduración: En esta etapa también en algunas variedades o cultivares se puede presentar la Floración. , esta fase tiene una duración media de 45 días. En la etapa de maduración la plata de la caña de azúcar disminuye su ritmo de crecimiento y comienza a concentrar mas sacarosa en el tallo, de manera gradual hasta llega a un punto máximo a partir del cual la concentración de sacarosa en los tallos inicia a decrecer. Este proceso de concentración y decrecimiento es uno de los factores mas importantes en el programa de cosecha, y en aquellos que están basados en la maduración natural, la búsqueda de los mejores campos en concentración de sacarosa es un trabajo diario (Costa, C; 2010).



**Figura 1 Fases Fenológicas del Cultivo de la caña Gascho e Shih(1983).**  
Fuente: Costa C; (2010)

### **3.1.1.3. Proceso de maduración fisiológica de la caña de azúcar:**

La fotosíntesis es el proceso fundamental que determina el 100 % de los productos útiles de la caña de azúcar (azúcares y bagazo). Por tanto, las hojas son las centrales energéticas para la producción de azúcar en forma de sacarosa, fructosa y glucosa. Esta planta pertenece al grupo de las C-4, ya que los primeros productos de la fijación del CO<sub>2</sub> tienen cuatro átomos de carbono, y se caracteriza por una alta tasa fotosintética en las hojas, que da como resultado altas producciones de biomasa por hectárea y por año. Mediante la fotosíntesis, el carbono es fijado por la planta, el que podría ser usado para su crecimiento, producción de más hojas, raíces o la elongación de los tallos; o puede ser almacenado como azúcar en los tallos. Esta acumulación es la combinación de un alargamiento y expansión del tallo, para proveer un espacio suficiente para la producción y almacenamiento de azúcar. El transporte de azúcar en forma de un disacárido tiene una ventaja para las plantas, ya que tiene una menor presión osmótica que la de un monosacárido a la misma concentración (Castillo Torres, R; 2004).

Siendo la caña de azúcar una planta C-4, ésta responderá mejor a mayores horas de brillo solar, para procesar los hidratos de carbono, como el azúcar. Esta especie acumula materia seca a una tasa de 1.7 g/MJ/m<sup>2</sup> (megajoules/m<sup>2</sup>), Un día claro y soleado de 8- 10 horas puede proporcionar de 28- 30 MJ/m<sup>2</sup>/día O'Shea citado por Castro, OR (2010). Estas plantas tienen la capacidad de producir y movilizar grandes cantidades de sacarosa por el floema, gracias a una estructura celular especial que poseen, localizada principalmente en la nervadura central de la hoja. Los cloroplastos, que se encuentran en las células del mesófilo, son los encargados de iniciar el proceso a través de la fotosíntesis (Castillo Torres, R; 2004) y (Espinosa, G. 2012)

La maduración de la caña es un proceso continuo y reversible. Durante el crecimiento de los tallos, cada entrenudo tiende a funcionar como una unidad independiente; mientras el entrenudo tenga su hoja, completa el crecimiento de sus células y su pared celular se vuelve gruesa, tendiendo a llenar ese volumen con azúcares. Una vez que los entrenudos han completado su ciclo, las hojas mueren. Los entrenudos de la parte baja están maduros, mientras que los de la parte alta

continúan su crecimiento. El azúcar almacenado estará disponible para el crecimiento o formación de nuevos brotes, cuando las condiciones ambientales no son favorables para la fotosíntesis. La madurez de la caña es una función de la edad y de los niveles de nitrógeno y humedad, pero es complicado e impredecible por la influencia de factores climáticos como: luz, temperatura, lluvia y humedad. Se considera que las amplias oscilaciones de temperatura máxima diurna y mínima nocturna estimulan una mayor concentración de sacarosa. Generalmente, las épocas con bajas temperaturas nocturnas, están acompañadas de alta radiación solar en el día, la cual favorece para la acumulación de sacarosa (Castillo Torres, R; 2004), (Espinosa, G. 2012) y (Larrahondo, J. 1995).

La maduración natural de la caña de azúcar, se inicia cuando se disminuye la tasa de crecimiento del tallo, hay menor humedad en los suelos y bajas temperaturas, Almeida cita por Espinoza, G. (2012) esto no ocurre en Guatemala al inicio de la zafra puesto que la época de lluvia esta finalizando.

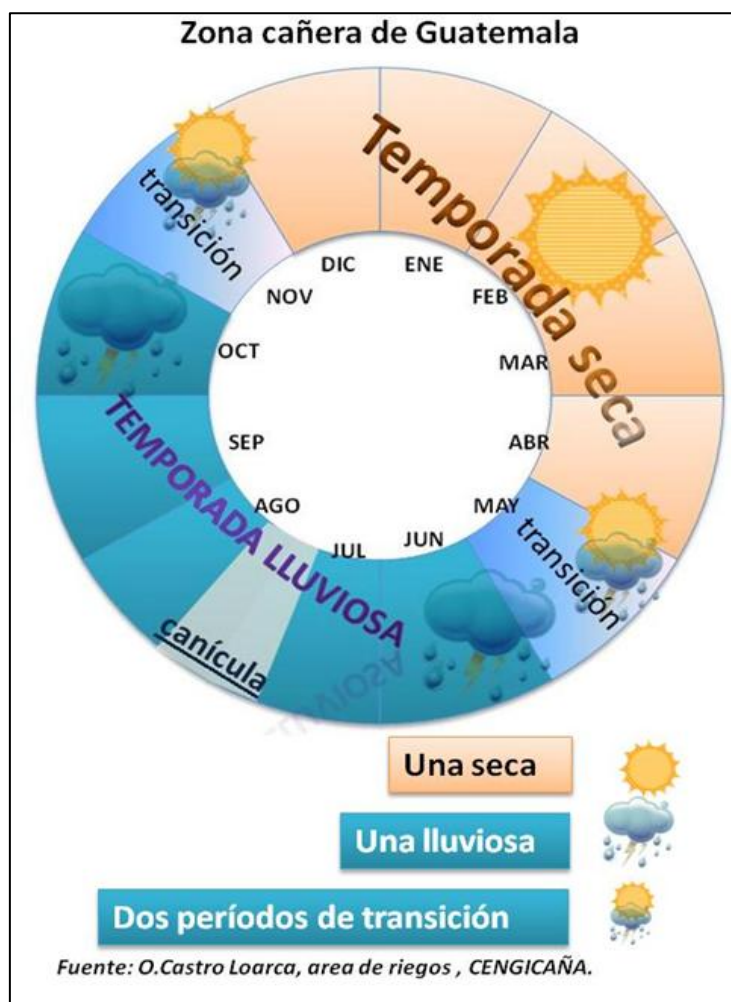
El contenido de sacarosa en la caña es el resultado de un balance entre la cantidad total sintetizada y la cantidad hidrolizada por la activas de las invertasas ácidas y neutras. La invertasa ácida es una enzima soluble que se localiza en el apoplasto y la vacuola de las células de la planta, su función es hidrolizar y transportar la sacarosa desde las hojas hasta los tallos durante el crecimiento. La mayor actividad de esta enzima cuyo funcionamiento de en pH 5.0 - 5.5 ocurre en el período de crecimiento y disminuye en la etapa de maduración. La invertasa neutra, por su parte, es una enzima soluble, que presenta máxima actividad a pH 7 y se localiza en el citoplasma de los tejidos maduros, por lo que esta relacionada con la acumulación de sacarosa en los tallos su máxima actividad se presenta en el período de maduración. A medida que existe mayor maduración del tallo de la caña de azúcar, la acumulación de sacarosa se incrementa y los niveles de azúcares reductores va disminuyendo en los entrenudos (Espinosa, G. 2012).

### **3.1.2. Factores que influyen en la maduración de la caña de azúcar**

#### **3.1.2.1. Factores climáticos**

##### **3.1.2.1.1. Lluvia**

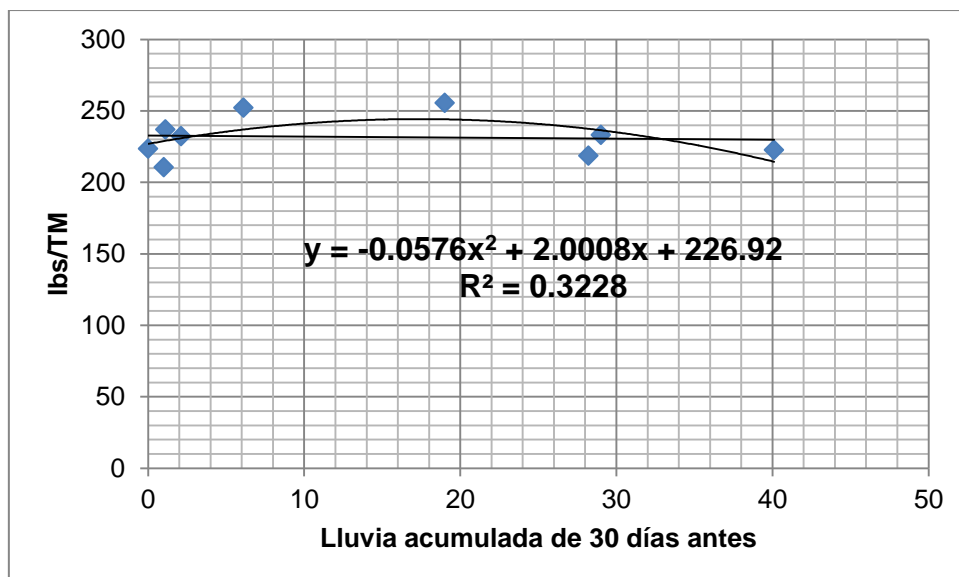
El período de zafra en Guatemala inicia en noviembre, de acuerdo con la gráfica 2 se puede observar que esta es una época de transición entre la finalización de la época lluviosa y el inicio de la época seca, bajo estas condiciones no son la más favorables para la maduración de la caña de azúcar, similar condición se presenta en la parte final de la zafra donde se observa que también se presenta un período de transición en el inicio de la temporada de lluviosa nuevamente.



**Figura 2 Calendario pluviométrico anual de Guatemala.**

Fuente: O. Castro Loarca, Cengicaña.





**Figura 3 Comportamiento de la lluvia acumulada en el rendimiento de azúcar.**  
Fuente: Castro, OR. Suarez, A. 2012

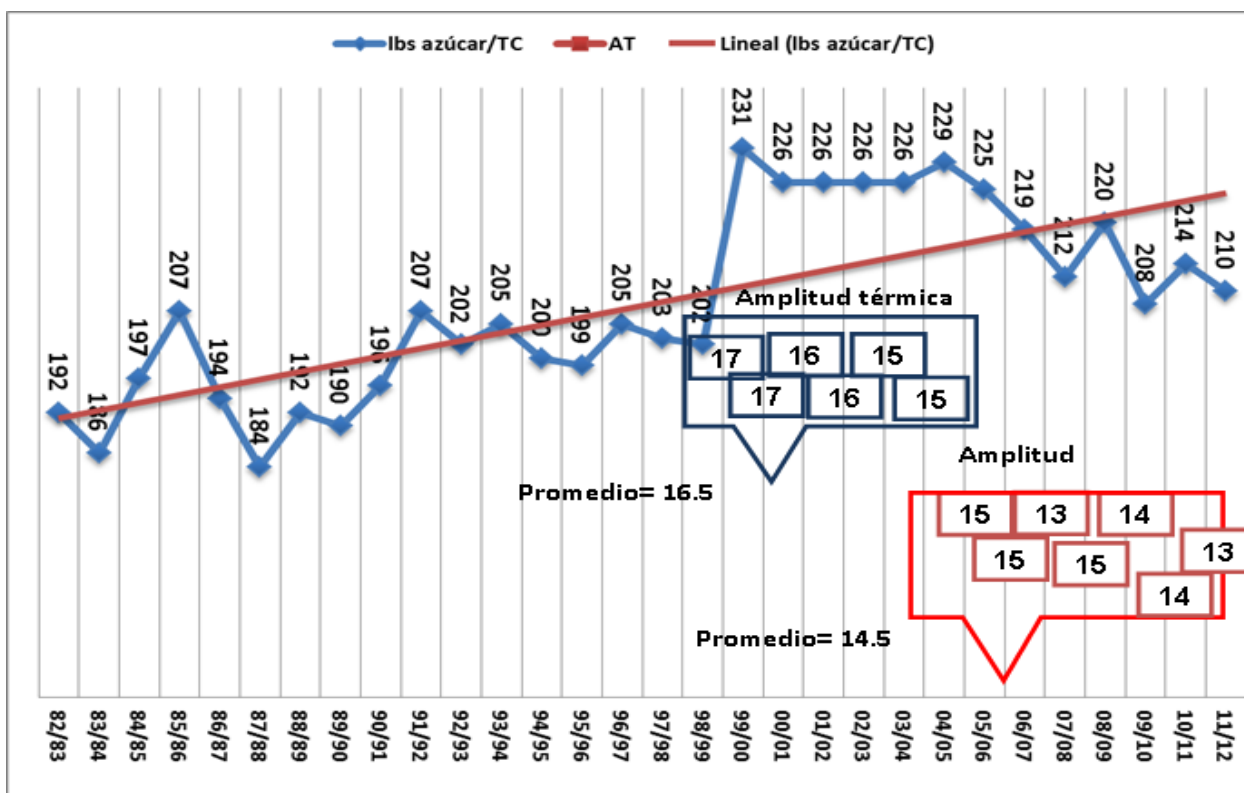
### 3.1.2.1.2. Temperatura

La temperatura es tal vez el factor más efectivo para explicar la acumulación de sacarosa en la caña de azúcar. El tiempo frío reduce el crecimiento y desarrollo de los tallos y mejora la sacarosa (Larrahondo, J; Villegas, F. 1995). De acuerdo con Alexander en 1973 citado por Laharrondo, el proceso de maduración fisiológica depende de la reducción de la temperatura y la disminución de la tasa de crecimiento vegetativo, afectando significativamente el proceso de fotosíntesis, de que modo que una mayor cantidad de productos foto-sintetizados son transformados sacarosa que esta disponible para ser almacenada en los tallos de la planta (Larrahondo, J; Villegas, F. 1995).

Según Uehara citado por Almeida en Costa, C; (2010), en estudios realizados sobre la influencia de la baja temperatura en la maduración, fueron verificados que cuando la caña de azúcar fue aclimatada a temperaturas bajas de 15.3°C en el período de la noche y 26.6°C durante el día, estas temperaturas inducirán bajas tasas fotosintéticas durante el día y tasas de respiración fueron mas altas que las que comparadas con el control. El autor constato que la temperatura baja disminuyó la acumulación de materia fresca, mas aumento a concentrar sacarosa, cuando las

condiciones ambientales comienza a ser desfavorables para el desarrollo vegetativo de la caña de azúcar, se conjuga con las bajas temperaturas y baja humedad en el suelo y la planta comienza en ese período el acumulado de sacarosa y generalmente ocurre de 11 a 20 meses después de la siembra, dependiendo de la época de cosecha.

Según Castro, OR. (2010) y (2012) el comportamiento de la temperatura en la zona cañera guatemalteca es variable en cada uno de los meses del año, así también en cada uno de los años. De los efectos de la temperatura en la acumulación de sacarosa, la amplitud térmica (diferencia en grados entre la temperatura máxima y la mínima) y la temperatura mínima son importantes.

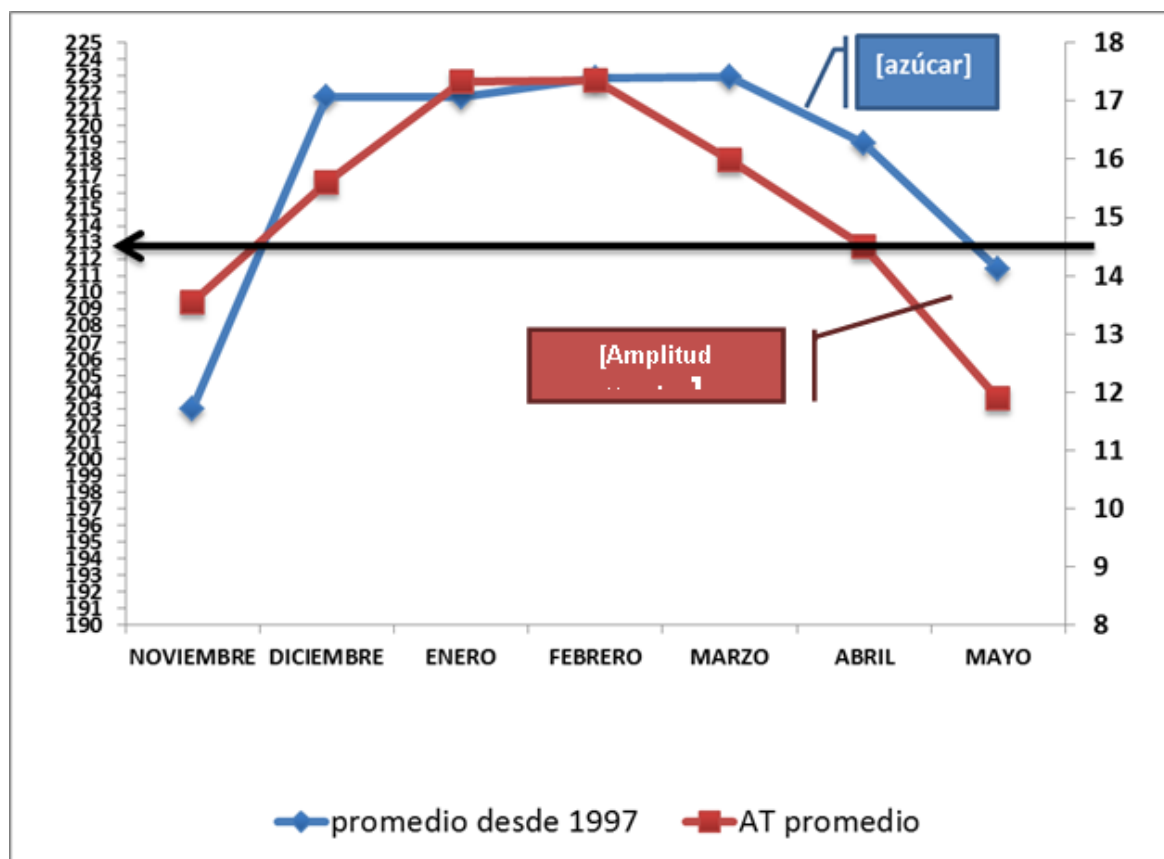


**Figura 4** Relación histórica general entre el rendimiento de azúcar y el comportamiento de la amplitud térmica en la zona cañera de Guatemala.

Fuente: Castro, OR. 2010.

En la figura 4 se observa que la zafra 1999/2000 al 2005/2006 el rendimiento de azúcar y las amplitudes térmicas fueron altas, mientras que para los períodos

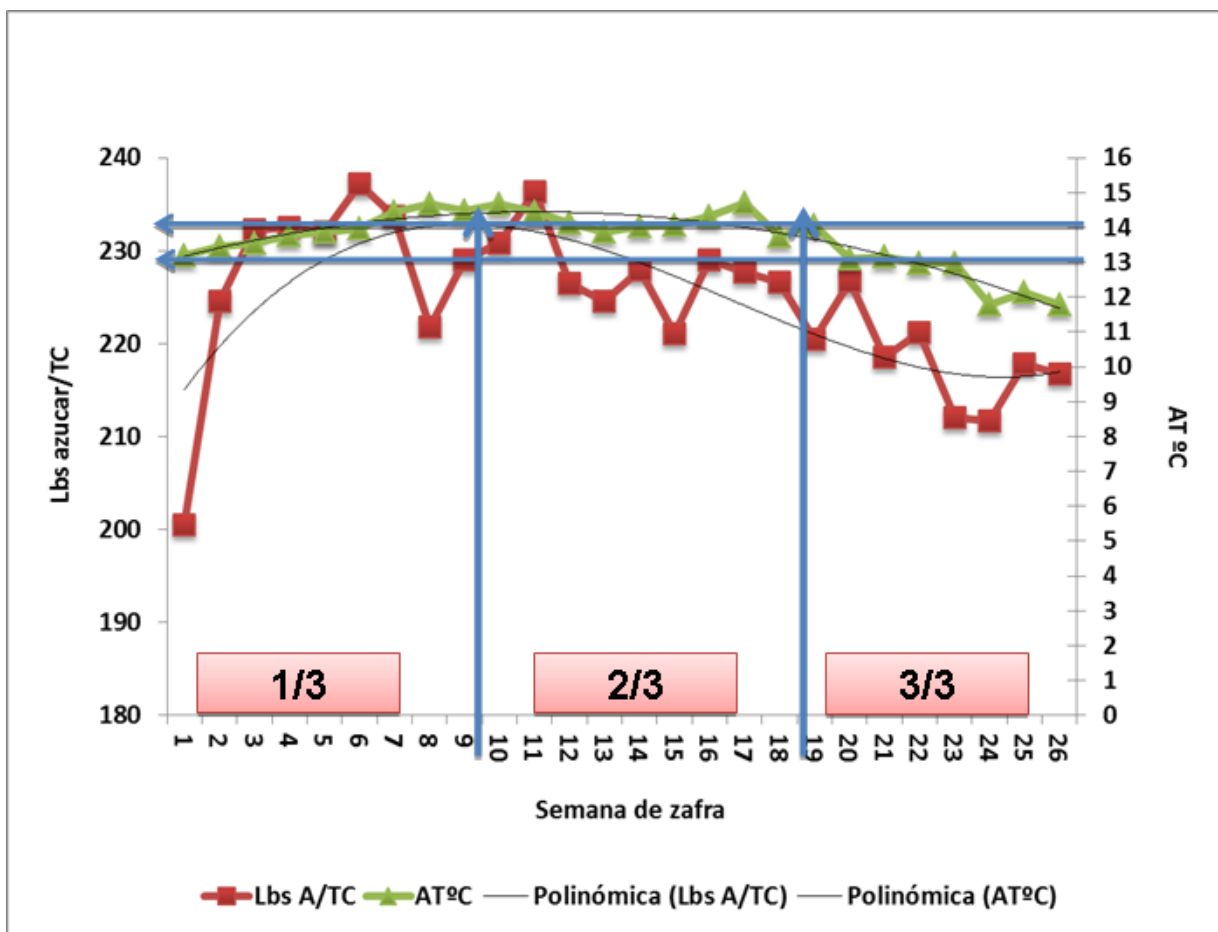
2006/2007 al 2010/2011, donde los rendimientos y las amplitudes térmicas fueron mas bajas, donde se observa el efecto en el rendimiento.



**Figura 5** Relación general histórica del rendimiento de azúcar y el comportamiento de la amplitud térmica por cada mes de zafra. zona cañera de Guatemala.

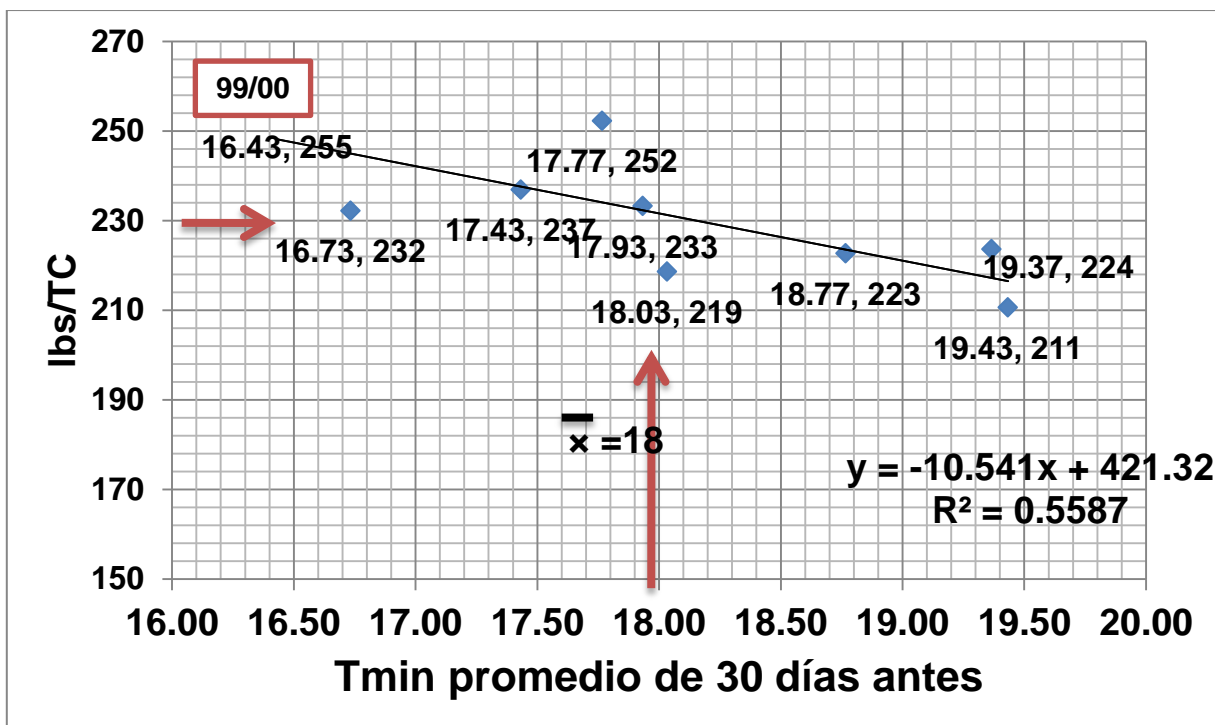
Fuente: Castro, OR. 2010.

Según Castro, OR (2010) (2012) y Castro, OR; Suarez,A.(2012) cuando se analiza la figura 5 el comportamiento del azúcar durante los meses de la zafra y la amplitud térmica en el mismo período, se observa que en los meses de mayor amplitud térmica que corresponde de diciembre a marzo, han sido mayores de las 215 Lb azúcar/TC, mientras que para los meses de noviembre, abril y mayo, históricamente son los meses de menor rendimiento y se asociación con amplitudes térmicas menores de 15°C como se observa en la gráfica anterior.



**Figura 6 Comportamiento de la Amplitud térmica y libras de azúcar promedio de la zafra 2006/2007 a 2011/2012. Ingenio Madre Tierra.**  
 Fuente: Castro, OR. 2012.

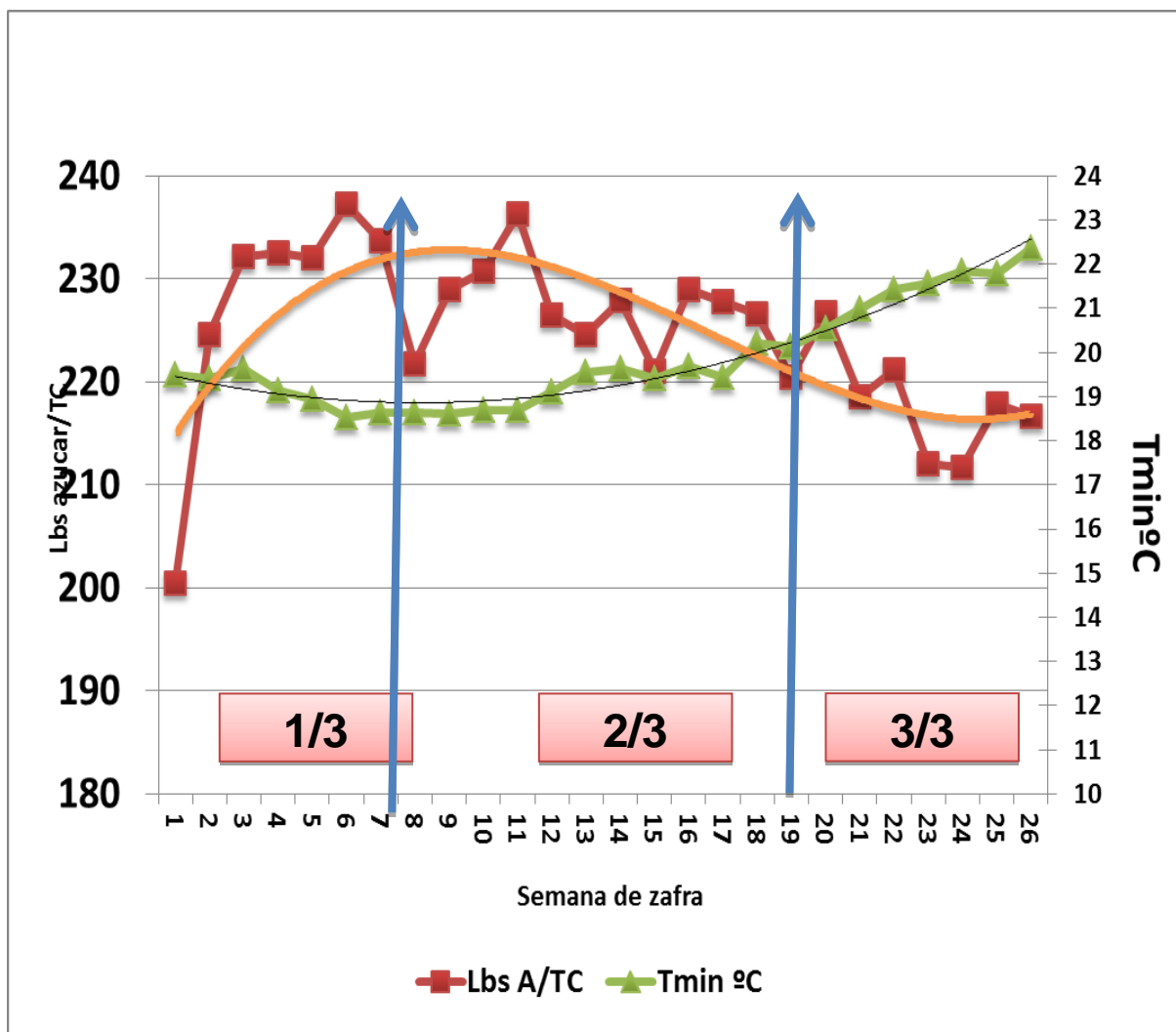
En la figura 6 se observa similar comportamiento donde los mejores rendimientos se presentan cuando amplitud térmica (AT°C) es mayor y que luego el rendimiento decrece a medida que la amplitud térmica disminuye.



**Figura 7** Análisis de regresión con variables: temperatura mínima promedio de 30 días antes de la cosecha y rendimiento de azúcar en libras en lote 3060 de Ingenio La Unión.

Fuente: Castro, OR; Suarez A. 2012.

Con la información histórica de rendimiento de azúcar de los lotes cercanos a la estación meteorológica Belén (La Unión- Los Tarros) se determinó que el grado de asociación a través de la correlación de Pearson entre la variable temperatura promedio mínima de 30 y 45 días acumulados antes de la cosecha y el rendimiento comercial fue de -074 y -073. El coeficiente de regresión indica que por cada grado centígrado que aumenta la temperatura mínima, el rendimiento de azúcar disminuye 10.54 libras por tenla de caña. De esta manera se comprobó que a temperatura mínima menor a 18°C promedio de los 30 días antes del corte, proporciona mayor acumulación de azúcar de forma natural (Castro, OR.2010) y (Castro, OR; Suarez A. 2012).



**Figura 8 Comportamiento Tmin °C y libras de azúcar/TC de la zafra 2006/2007 - 2011/2012. Ingenio Madre Tierra.**

Fuente: Castro, OR. 2012.

Esta figura 8 presentamos que cuando la temperatura mínima esta por debajo de los 18°C se presentan los mejores rendimientos de azúcar, y a medida que se incrementa esta el rendimiento de crece, siempre existe un efecto de interacción con la humedad de suelo y la lluvia (Castro, OR. 2012).

### **3.1.2.2. Factores de Manejo**

#### **3.1.2.2.1. Fertilización**

El desarrollo de la planta es ligado a la nutrición mineral, la fertilización tiene por objeto estimular el crecimiento de la planta, pero algunos nutrimentos tienen efectos adversos sobre la calidad en el momento de la cosecha, en tanto que otros la mejoran y son claves para el proceso fabril (Laharrahondo, J; Villegas, F. 1995).

Las aplicaciones excesivas de nitrógeno tienden a disminuir el contenido de sacarosa y retrasar la maduración; no obstante niveles altos de este nutrimento están casi siempre asociados con un vigoroso desarrollo vegetativo, como lo demuestran los estudios en Hawái y México realizados por Wang, donde se observaron disminuciones en el Pol (% Caña), e incrementos en la producción (Laharrahondo, J; Villegas, F. 1995).

El fósforo mejora la calidad de los jugos, como lo demuestran los trabajos de Meade y Chen (1977), quienes en Hawái encontraron aumentos significativos en la calidad de los jugos con la fertilización fosfatada. Honing en 1960 considerara que la cantidad de fosfatos presentes en los jugos de la caña es importante para el proceso de clarificación, la concentración en el jugo debe estar entre 300 – 600 mg/l  $P_2O_5$ . El fósforo, en forma de fosfatos solubles, además de ser un elemento clave para el crecimiento y desarrollo del cultivo, también es de gran utilidad en el procesamiento y recuperación de azúcar de buena calidad (Laharrahondo, J; Villegas, F. 1995).

El potasio es importante en el metabolismo de los vegetales, ya que sirve para mantener la dispersión del protoplasma, para la asimilación del carbono y para la síntesis y translocación de las proteínas. Cuando se presentan deficiencias de este nutrimento en un cultivo de caña, el porcentaje de sacarosa se reduce y los niveles de azúcares reductores se incrementa, lo cual resulta, posiblemente, en bajos rendimientos y en la presencia de altas cantidades de materiales que brindan color al azúcar, debido a la descomposición térmica de los azúcares reductores o a las reacciones de Maillard en el proceso industrial. (Laharrahondo, J; Villegas, F. 1995), y (Lazcano-Ferrat, I. 2000)

Cuando el contenido de potasio en el suelo es adecuado, se debe evitar las aplicaciones excesivas de este nutrientes, ya que se pueden presentar problemas en la fábrica. El cloruro de potasio cristaliza primero que la sacarosa y ocasiona problemas en la elaboración comercial de la azúcar. Los jugos provenientes de cañas cultivadas en suelos salinos, ricos en sulfatos de potasio, producen incrustaciones de sulfato de calcio hidratado en los evaporadores, por estas incrustaciones resultan de la combinación del ion sulfato con el calcio proveniente del encalamiento que se hace en la fabrica (Laharrahondo, J; Villegas, F. 1995).

Otros nutrientes como Sodio, Calcio y Magnesio que son comunes en suelos salinos, tienen efectos melasigénico, producción alta de miel en la etapa de cristalización de la sacarosa, y por consiguiente a la producción de mieles finales de alta pureza y una baja recuperación de azúcar comercial (Laharrahondo, J; Villegas, F. 1995).

#### **3.1.2.2.2. Riego**

Influye en el régimen de humedad del suelo, que a su vez afecta el contenido de humedad en la planta, la reducción en el contenido de húmeda en los tallos induce la conversión de los azúcares reductores a sacarosa, que es lo que se conoce como el proceso de sazonado de la caña, que es inducir el proceso de maduración mediante la regulación de la humedad en el suelo; por el contrario cuando no se reduce el régimen de humedad y el sazonado es inadecuado, se reduce la formación de azúcar como lo encontró Wiggins citado por Laharrahondo, J. (1995).

#### **3.1.2.2.3. Variedad**

Es un factor principal y estratégico en la maduración, por el contenido de sacarosa, proceso de maduración, el nivel de compuesto no-sacarosa y la morfología de los tallos, son característica genética que depende de cada variedad e influyen directamente en la calidad de la sacarosa y en el rendimiento (Castillo Torres, R; 2004), (Orozco, H *et al* 2012), y (Larrahondo, J. 1995).

No se pueden clasificar de manera rígida las variedades, por la interacción entre el ambiente y manejo, pero en función de la respuesta bajo las mismas condiciones de la misma existen variedades más productoras de sacarosa y con mejor calidad que otras (Orozco, H *et al* 2012).



De acuerdo a la base genética las variedades responde de manera diferente al estímulo del fotoperíodo, condiciones climáticas y a la latitud, generando diferentes épocas de maduración y cosecha, que se identifican como curvas de maduración de la variedad (Castillo Torres, R; 2004) y (Orozco, H *et al* 2012).

Este proceso de planeamiento varietal es fundamental en la obtención del mejor rendimiento industrial (Larrahondo, J. 1995).

#### **3.1.2.2.4. Edad de cosecha**

Este es un factor ligado al proceso fenológico del cultivo, lo óptimo es la cosecha en la fase de Maduración que se encuentra para Guatemala en los 12 – 13 meses de edad, por esta asociados a su mayor concentración de sacarosa. Además existen ciertos compuestos no sacarosa, como almidones, fructosa, glucosa, compuesto fenólicos y aminoácidos que afecta el proceso industrial cuando se cosecha caña con menor edad. Por el contrario cuando se cosecha caña con mayor edad, se incrementan la fibra, que afecta los porcentajes de bagazo, trash o basura, disminución en el contenido de jugo en los tallos, compuesto no sacarosa por los procesos de deterioro o sobre maduración que siempre afectan este proceso (Larrahondo, J. 1995).

#### **3.1.2.2.5. Plagas y enfermedades:**

Las plagas afectan la producción de biomasa, toneladas de caña por hectárea; pero también tiene un efecto en el rendimiento afectando la recuperación de sacarosa de los tallos por sus efectos. Las principales plagas que afectan el rendimiento de sacarosa son:

El complejo de especies de Barrenadores del tallo (*Diatraea spp.* *Xubida dentilineatella*, *Phassus phaalerus*) que pueden causar daños de 0.36 Kg Azúcar/Ton métrica de caña por cada 1 % de Intensidad de Infestación, cuyo daño principalmente es por la infección de hongos y bacterias que causan descomposición de las áreas afectadas con sus perforaciones y galerías (Márquez, JM 2012).

Chiche Salivosa que son las especies *Aeneolamia postica* y *Prosapia simulans* que pueden causar pérdidas de 5.83 Kg de Azúcar/Ton métrica de caña por cada 1 adulto/tallo. Esta plaga causa daño afectando el área fotosintética de la planta

mediante la producción de la necrosis de las hojas, debido a la inyección de ciertas toxinas durante el proceso de alimentación de la misma en las hojas como adulto y en las raíces en su estado ninfa. Además de promover el incremento de azúcares reductores (Márquez, JM 2012).

Las poblaciones de Roedores donde la especie predominante es *Sigmodon hispidus*, aunque se presenta otros géneros como *Peromyscus*, *Heteromys*, *Liomys* y *Oryzomys*. Las pérdidas por esta plaga puede ser del orden del 2.19 Kg de azúcar/Ton métrica/1 por ciento de intensidad de infestación. El daño de esta plaga se produce por el efecto de las roeduras que realizan en la caña produciendo la infección de tallos con hongos y bacterias, además del incremento de tallos secos, con lo cual se incrementa el trash (Márquez, JM 2012).

En la caña de azúcar se han reportado 126 enfermedades en 109 países China et al citado por Ovalle, y en Guatemala se han identificado 24 de ellas. Las enfermedades en la caña de azúcar, se manejan mediante la resistencia varietal y para la mayoría de variedades presentes en Guatemala actualmente ninguna de la principales enfermedades esta afectando a las variedades comerciales de manera de causar perdidas considerables económicas, puesto que la estrategia en este caso es la reducción o eliminación de la variedad mediante el remplazo por otra. Además se ha comprobado que el efecto depende de grado o nivel de resistencia de las variedades a la enfermedad (Márquez, JM 2012).

### **3.1.3. Maduración inducida de la caña de azúcar:**

Según Villegas, F; Arcila, J. (1995) cuando las condiciones naturales para la maduración de la caña de azúcar no son favorables, es posible inducirla aplicando productos químicos conocidos como Madurantes. Espinoza,G. (2012) indica que en muchos países productores de caña se utiliza la maduración artificial, que consiste en proporcionar al cultivo ciertas condiciones para inducir su maduración, cuando estas no se dan naturalmente.

En Guatemala la caña de azúcar que se cosecha a principio de zafra tiene en general baja concentración de sacarosa, por cuanto que esta iniciando su maduración y aun conserva un alto contenido de humedad en los tallos. La aplicación de maduradores o madurantes permite la mayor acumulación de sacarosa en ese

período inicial de zafra, Conforme avanza el período de cosecha se obtienen valores mayores de concentración de sacarosa en los tallos y especialmente en febrero se obtiene una mejor acumulación, debido a que las condiciones del clima coinciden de manera favorable para la acumulación de sacarosa (Espinosa, G. 2012).

Según Arcila citado en Villegas, F.; Arcila, J. (1995) un madurante o madurador es un compuesto orgánico que aplicado en pequeñas cantidades, inhibe, fomenta o modifica de alguna forma, proceso fisiológicos de la planta. Según Espinoza G. (2012) que cita a Lavanholi et al y Almeida et al, los maduradores químicos son compuestos con propiedades herbicidas que hacen las funciones anteriores.

Los reguladores de crecimiento pueden afectar la maduración, ya sea mediante la inhibición del crecimiento sin afectar la fotosíntesis, o actuando sobre las enzimas que catalizan la acumulación de sacarosa (Espinosa, G. 2012).

Los Madurantes mas utilizados en Guatemala son herbicidas químicos no selectivos que contienen como ingrediente activo la molécula de Glifosato, también se han utilizado herbicidas selectivos como graminicidas (Espinosa, G. 2012).

### **3.1.3.1. Historia del uso de los madurantes**

Según Arcila citado en Villegas, F.; Arcila, J. (1995), quien indica que desde 1920 se viene investigando sobre el uso de madurantes no solo en caña de azúcar, si no en otros cultivos. Una de las prácticas mas antiguas para aumentar la concentración de sacarosa, consistía en reducir el área foliar cortando varias hojas de la planta, que en Guatemala se conoció como el desvajerado, que actualmente no se utiliza.

En los trabajos de regulación de crecimiento se han utilizado diferente estrategias como lo es la regulación de la humedad (Sazonado), la aplicación de macro y micronutrientes generando un desbalance para favorecer la acumulación de sacarosa (Villegas, F; Arcila, J. 1995).

El uso de productos químicos para mejorar la calidad de los jugos de la caña se inició evaluando principalmente en aquellas zonas donde las condiciones de temperatura y precipitación no favorecen a la maduración natural. Los primeros ensayos con madurantes se iniciaron en Hawái, Cuba, India y Australia utilizando 2,4 D, Ácido Giberelico y TBA (Acido 2,3,6 Triclorobenzoico), sin que se encontraran resultados

satisfactorios en el incremento de sacarosa según menciona Villegas que cita a Azzi et al, Chacravarti et al, y Coleman et al. Arcila reporta que en Barbados evaluaron Sulfato y Nitrato de Cobre, Nitrato de Zinc, Glicerol, Etanol, Fluoruro de Sodio, 2,4, D y 2,4, 5 T sin resultados satisfactorios (Villegas, F; Arcila,J. 1995).

Hacia 1970 aparecieron los primeros productos que brindaron unos mejores resultados como madurantes, dentro estos los principales productos son Ethrel (Ethephon), Assulox (Assulam), Embark ( ), Polado (Glifosina) y Roundup (Glifosato) con pruebas con éxito en lugares como Hawaii, Florida, Lousina, Puerto Rico, Mauricio, Brasil y Sudáfrica (Villegas, F; Arcila,J. 1995).

Los compuestos que a nivel mundial que han mostrado las respuestas mas satisfactorias son Glifosina, Sal Sódica de Glifosato, Sal isopropilamina de Glifosato y el Ethephon (Villegas, F; Arcila,J. 1995).

En Guatemala las evaluaciones se iniciaron antes de 1980 con Glifosina, Sal Sódica de Glifosato pero existían limitaciones de comercialización de los productos, hacia 1980 de iniciaron la pruebas con Sal Isopropilamina de Glifosato con mejores resultado y como un mejor apoyo comercial de la marca, que contribuyo con el desarrollo de la técnica, aportando soporte técnico al desarrollo que iniciaban ha realizar los ingenios de manera individual, y con poco conocimiento de la técnica ( Cadenas Ordoñez,G. 1995), (Espinosa, G. 2012)y (Ortiz Garzaro, JM. 2003).

Con la necesidad de iniciar zafras mas temprano y la expansión hacia la zona baja y litoral donde las condiciones de maduración natural son menos favorables la practica ha llegado a crecer en un rango que para la zafra 86/87 se aplicaron 100 ha, para la zafra 90/91 fueron 13,000 ha y para la zafra 2010/2011 llego a 148,000 ha. Siendo glifosato el producto mas aplicando a la fecha (CENGICANÑA, 2012a).

### **3.1.3.2. Principales productos utilizados como madurantes**

En Guatemala se han utilizado diferentes productos como Madurantes o Maduradores como Glifosato, Fluazifop, Cletodim y mas recientemente el Ethyl trinexapac, y algunas mezclas de fertilizantes a base de potasio y boro, que no han tenido un desarrollo en crecimiento en las áreas aplicadas a través de los diferentes años.

### **3.1.3.2.1. Glifosato**

La molécula de glifosato N (fosfometil) glicina es el ingrediente activo del herbicida Roundup cuya forma química es una sal, que es la Isoprilamina de Glifosato, cuando es sustituida la sal por el grupo Trimetilsulfonio se produce el Sulfosato que es la presentación del producto comercial Touchdown.

El Glifosato penetra en el follaje y se transporta por el floema junto los productos de la fotosíntesis y se acumula en los meristemos según Yamada y Castro. La hipótesis más aceptada sobre el mecanismo de acción del glifosato como herbicida, plantea la inhibición de la acción de dos enzimas: la mutasa corísimica y la deshidratasa prefénica, que intervienen en la síntesis del ócielos coríasmico el cual es, a su vez, precursor de tres aminoácidos exclusivos que sintetizan solamente las plantas: el triptófano, la tirosina y la fenilalanina, según Jaworski, Zablutowicz y Reddy citado por Espinoza, G. (2012), así mismo, Hatch et al indicia que el Glifosato parece reducir los niveles de invertasa ácida en cañas tratadas, con lo cual reduce la tasa de desdoblamiento de la sacarosa en glucosa y fructosa. Como resultado de lo anterior menos sacarosa se desdobla para el crecimiento y se almacena en las células, principalmente en la del tercio superior del tallo. En consecuencia de la inhibición de la síntesis de estos tres aminoácidos, de los ocho que sintetiza la planta, es la base de la toxicidad diferencial de glifosato entre los animales y las mismas (Monsanto, GT s.f.).

En el suelo Glifosato se comporta como un catión debido a su carga positiva, se fija fuertemente a los coloides del suelo, arcilla y materia orgánica, cargadas negativamente y que limita su lixiviación. Simultáneamente ocurre un proceso de degradación por parte de los microorganismos del suelo, que degradan la molécula a compuestos naturales como agua, CO<sub>2</sub>, nitrógeno y fósforo (Espinoza, G. 2012) y (Monsanto, GT s.f.).

La solubilidad del producto es alta de 20,000 mg/kg de agua, y no presenta volatilidad, y su categoría toxicológica de acuerdo con la normativa en Guatemala es IV o banda verde (Espinoza, G. 2012).

### **3.1.3.2.2. Graminicidas**

Fluazifop-butil es un graminicida basada en propionato de 2-(4-(5-trifluorometil-2-iloilxipiridina)fenoxi)-N-butil. Este madurador inhibe el crecimiento al restringir el volumen del parénquima sin jugo y promover la acumulación de sacarosa en 30 días aproximadamente (Espinosa, G. 2012).

El Cletodim cuya fórmula química es (E,E)-2-[1-(((3-cloro-2-propenil)oxi)imino)propil]-5-[2-(etiltilio)propil]-3-hidroxi-2-ciclohexan-1-ona es un herbicida graminicida de postemergencia que se caracteriza por su bajo efecto sobre dicotiledóneas. Se absorbe rápidamente y se trasloca fácilmente desde las hojas tratadas al sistema radical y puntos de crecimiento de la planta. El mecanismo de acción del herbicida Fluazifop y Cletodim son similares, estos productos son capaces de inhibir la biosíntesis de lípidos específicos en gramíneas y actúan en el nivel de las enzimas que inhiben la acción de la carboxiltransferasa que pertenece al complejo enzimático de la Acetil Coenzima A Carboxilasa y a este a la vez bloquea la formación de triglicéridos que se combinan para formar las membranas celulares. Los síntomas se observan de 1 a 3 semanas después de la aplicación dependiendo de la especie de gramínea y de las condiciones ambientales (Espinosa, G. 2012).

Estos productos se acumulan en las zonas de crecimiento afectando los tejidos meristemáticos en los nudos de los tallos y yemas, lo cual detiene el crecimiento en 48 horas. Los tejidos jóvenes en expansión y los meristemos resultan ser los más sensibles. Se aplican en área donde existen cultivos vecinos de hojas anchas, en variedades de caña susceptibles o cuando se requiere un intervalo más corto de aplicación y cosecha (Espinosa, G. 2012).

### **3.1.3.2.3. Ethyl trinexapac**

Este producto inicio sus pruebas preliminares hacia los años 1992, pero hasta el años 2010 se inicio su aplicación de carácter comercial bajo el nombre de Moddus, este productos químico es de la familia de las Clicloxedinonas, y esta clasificado como un regulador de crecimiento. Ethyl trinexapac actúa en la síntesis de las Giberelinas, actuar sobre el GA 12 aldehído que es el precursor de otras 48 formas de giberelinas, afectando el proceso de crecimiento y desarrollo de manera temporal

y favoreciendo la acumulación y concentración de sacarosa en los tallos (Espinosa, G. 2012).

Este producto se esta utilizando para la aplicación en áreas donde existen cultivos vecinos susceptibles al glifosato, variedades susceptibles, suelos arenoso donde son mas severos los efectos de glifosato.

### **3.1.3.3. Factores a considerar en la administración de los madurantes:**

#### **3.1.3.3.1. Épocas de aplicación**

Las aplicaciones de madurantes obedecen a los tercios de cosecha de la zafra que para el caso de Guatemala, son el primer tercio de zafra que comprende los meses de noviembre y diciembre; el segundo tercio que son los meses de enero y febrero; el tercer tercio que son los meses de marzo y abril, en algunos casos dependiendo del año, pueden incluir los primeros 15 días de mayo. Las condiciones de aplicación para cada uno de los tercios varían por los efectos del comportamiento de la salida e inicio de la época lluviosa, así como la intensidad del período seco. Durante el cual debe realizarse ajuste a las dosis y períodos entre la aplicación y cosecha (Espinosa, G. 2012).

#### **3.1.3.3.2. Edad ha la aplicación**

Actualmente por las necesidades de enciclamiento de las plantaciones se han realizado aplicación desde los 7 meses de edad, pero la edad ideal de aplicación en corresponde a los 10 meses, por debajo de esta edad existe efecto en la producción, debido principalmente al efecto en la reducción del crecimiento en la fase de máximo desarrollo del cultivo (Cadenas Ordoñez, G. 1995).

#### **3.1.3.3.3. Textura del Suelo**

Los suelos con texturas de franco arenoso a arenosa y franco arcilloso a arcilloso presentan las mayores susceptibilidades, se deben realizar ajustes en las dosis (Villegas, F; Arcila, J. 1995).

#### **3.1.3.3.3. Humedad de los suelos**

La humedad en el suelo esta relacionada con la humedad proporcionada por las lluvias o mediante el riego, para que el madurante tenga una buena respuesta el cultivo no debe padecer de estrés hídrico por falta o exceso de humedad, este factor de considerarse puesto que su respuesta es realizar o no la aplicación (Villegas, F; Arcila, J. 1995).

#### **3.1.3.4. Variedad**

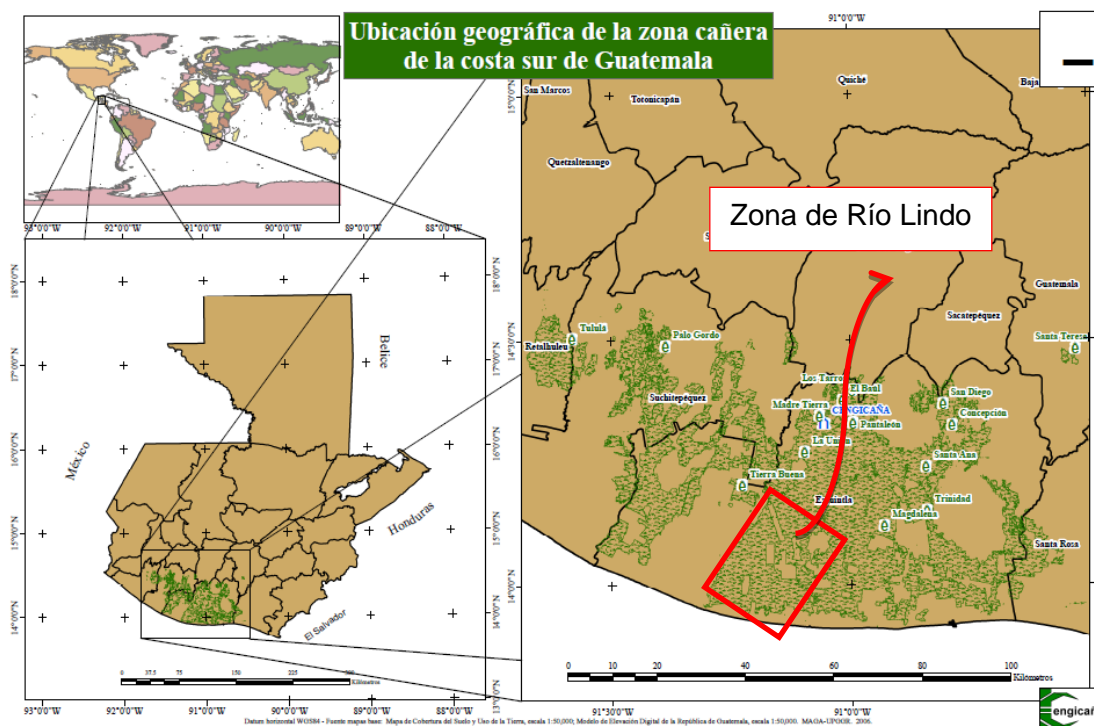
Existen respuesta diferenciales a la aplicación de madurantes de acuerdo con las variedades a aplicar, se debe tomar en consideración el grado de susceptibilidad de la misma a los diferentes productos que se utilizan, así como en el número de cortes de ciclo que se encuentra, debido a que los primeros cortes son más susceptibles que los cortes socas (Castillo Torres, R. 2004), (Espinosa, G. 2012) y (Villegas, F; Arcila J. 1995).



## 3.2. MARCO REFERENCIAL

### 3.2.1. Ubicación geográfica

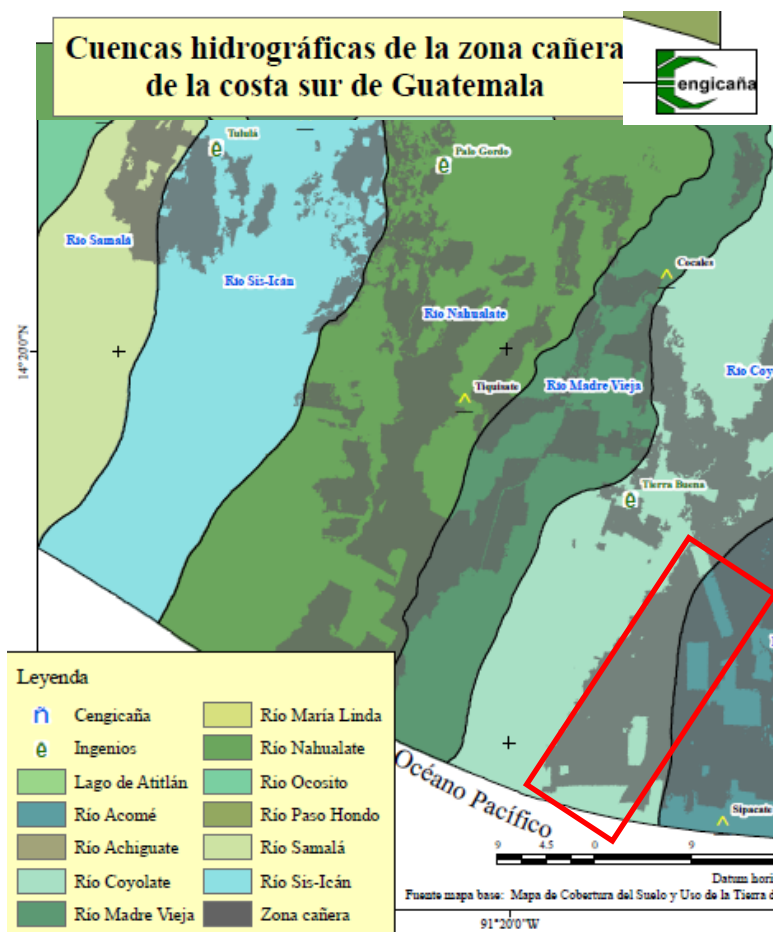
Las fincas que comprende la Zona 6 son las que se ubican en el municipio de la Gomera, en el departamento de Escuintla, y se enmarcan dentro de un rectángulo de 24 Km de largo en dirección norte-sur y 13 Km de ancho en dirección este-oeste con su centro en las coordenadas  $14^{\circ} 2' 14.56''$  N y  $91^{\circ} 13' 7.70''$  O. Se puede llegar por medio de la carretera CA2 en Sta. Lucía Cotzumalguapa, desviándose hacia aldea Cerro Colorado y luego hacia aldea Texcuaco en un recorrido de 49 Km, o bien por la ruta nacional 2 que conduce hacia Sipacate desviándose 22 Km hacia aldea Chontel (CENGICAÑA, 2012d)



**Figura 9 Ubicación geográfica de la zona cañera de Guatemala, y la zona de Río Lindo, La Gomera, Escuintla.**

Fuente: Cengicaña.

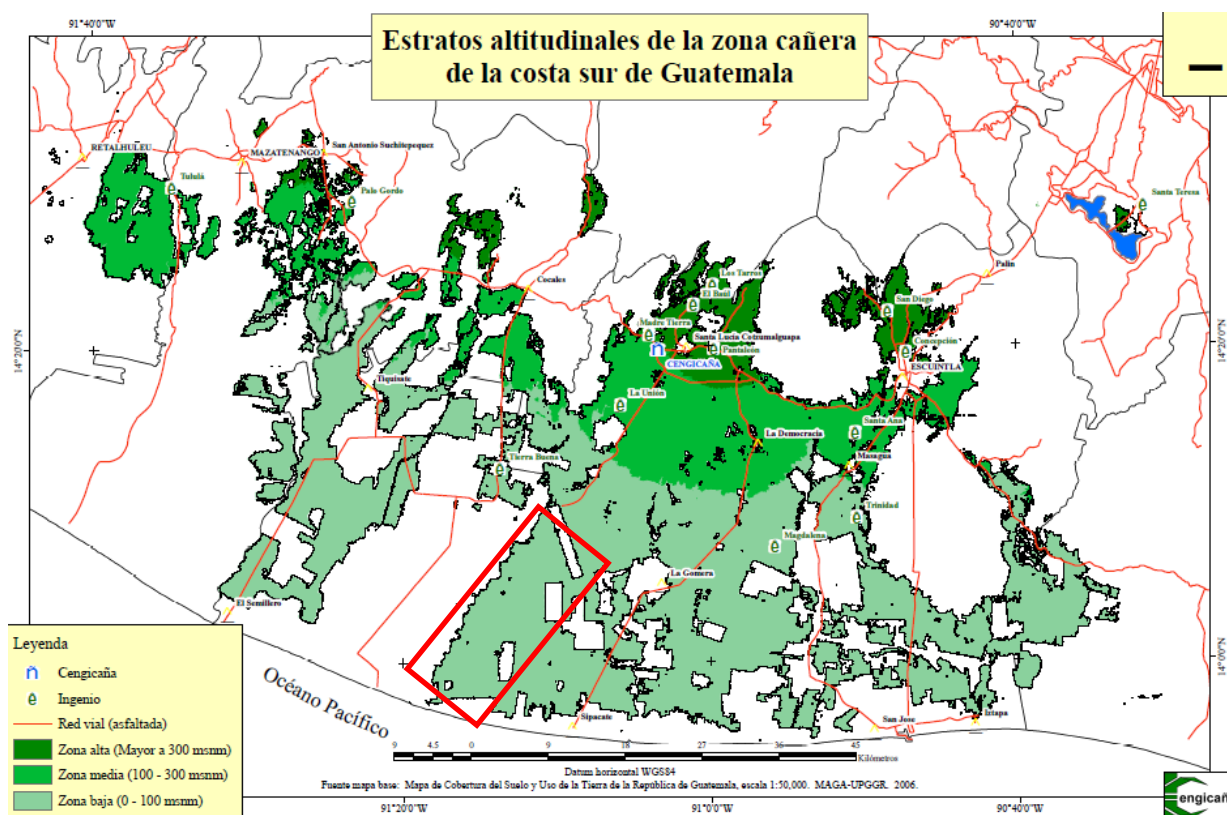
La Zona de Río Lindo se encuentra dentro de la Cuenca del Río Cuyolote, ver figura de cuencas de la región cañera.



**Figura 10** Ubicación de la zona de Río Lindo, La Gomera, Escuintla en la cuenca del Río Coyolate.

Fuente: Cengicaña.

De acuerdo con la clasificación de Estratos Altitudinales de Cengicaña la zona se clasifica dentro del Estrato Litoral que va en un rango de 0 -50 msnm, y de acuerdo con la mediciones realizadas de la finca la zona esta en un rango de 10- 49 msnm (CENGICAÑA, 2012b).



**Figura 11 Estratos altitudinales de la región cañera de Guatemala, ubicación de la zona de Río Lindo, La Gomera, Escuintla.**

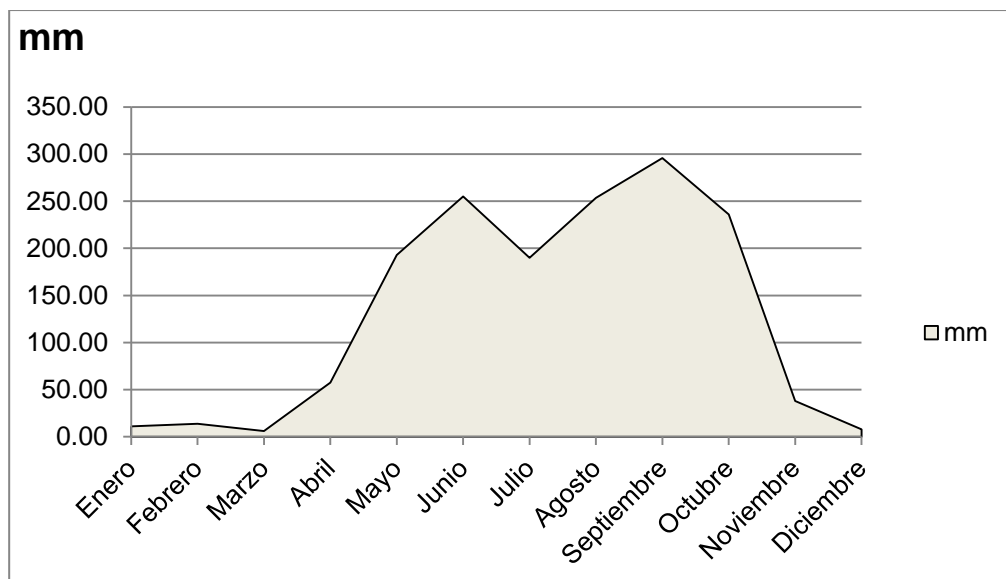
Fuente: Cengicaña.

### 3.2.2. Características climáticas

#### 3.2.2.1. Lluvia

Ubicando la zona en el mapa de precipitación histórica anual, se encuentra ubicada entre el Rango de los 500 – 1000 mm anuales, solamente la finca La Garrucha se ubica en el rango de los 1,000- 2,000 mm anuales, con un promedio medio anual de 1,026 mm distribuidos de Mayo a Octubre (CENGICAÑA, 2006a).

Durante el período de zafra que va de noviembre a abril, la precipitación histórica de la zona en mm se encuentra en el rango de 51.24 – 200 mm en el período (CENGICAÑA, 2006a).



**Figura 12 Comportamiento de la lluvia en el período de enero 2006 abril 2012 de la estación meteorológica San Antonio El Valle (MAG-SAV) - 91.476996, 13.995364 10 msnm.**

Fuente: CENGICAÑA, 2012c.

### 3.2.2.2. Temperatura

De acuerdo con los mapas de temperatura la zona se ubica en el rango de 27°C-28.5°C promedio, con una temperatura mínima promedio de 21.00°C y una temperatura máxima promedio de 33.22°C (CENGICAÑA 2006c).

CENGICAÑA (2012d) reporta la temperatura promedio diaria histórica en el período de no zafra esta en el rango de 27.51 – 28 °C y durante la zafra la temperatura promedio diaria histórica esta en el rango de 27.1 – 27.50°C.

**Cuadro 1 Comportamiento de la temperatura en el período de enero 2006 abril 2012 de la estación meteorológica San Antonio El Valle (MAG-SAV) -91.476996, 13.995364 10 msnm.**

Parámetro	Estadístico	Valores	
<b>Temperatura Media Diaria</b>	Promedio	26.89 °C	
	Rango	22.76 °C	30.06 °C
<b>Temperatura Mínima Diaria</b>	Promedio	21.15 °C	
	Rango	14.50 °C	25.2 °C
<b>Temperatura Máxima Diaria</b>	Promedio	33.35 °C	
	Rango	24.30 °C	38.40 °C
<b>Amplitud Térmica</b>	Promedio	12.20 °C	
	Rango	9.80 °C	13.20 °C

Fuente: CENGICAÑA, 2012c.

### 3.2.2.3. Balance hídrico

El Balance hídrico promedio de la Zona presenta un déficit de un rango de 1,165 – 835 mm anuales, siendo una de la zona de mayor demanda de riego Cengicaña (2006b).

### 3.2.2.4. Vientos

El comportamiento de los vientos en la Zona presenta patrones bien definidos de acuerdo con su ubicación geográfica que corresponde a la zona litoral, que se ven afectados por efectos de los frentes fríos del norte, pero están en períodos específicos, siendo lo predominante de dirección sur.

La velocidad del viento puede llegar a presentar valores muy altos principalmente a partir del medio día hacia finales de la tarde, durante los meses de la época de lluvias la el promedio de la velocidad se incrementar debido a los efectos ciclónicos de las tormentas tropicales, depresiones, ondas del este y huracanes que provocan lluvias con viento fuerte.

**Cuadro 2 Comportamiento del viento en el período de enero 2006 abril 2012 de la estación meteorológica San Antonio El Valle (MAG-SAV) - 91.476996, 13.995364 10 msnm.**

MES	Velocidad del Viento en Km/hr			Dirección Promedio
	Promedio	Mínima	Máxima	
ENERO	7.28	2.07	15.80	SSO
FEBRERO	8.01	2.16	17.17	SO
MARZO	7.62	2.02	16.88	SO
ABRIL	8.54	2.59	18.43	SO
MAYO	9.85	3.18	20.03	S
JUNIO	9.82	3.52	20.00	SSO
JULIO	10.33	3.19	21.33	SSO
AGOSTOS	8.60	2.53	18.43	SSO
SEPTIEMBRE	8.32	2.74	16.69	SSO
OCTUBRE	7.66	2.47	15.73	SSO
NOVIEMBRE	5.73	1.29	14.10	SO
DICIEMBRE	5.56	1.17	13.70	SSO
PROMEDIO	8.10	2.40	17.34	SSO

Fuente: CENGICAÑA, 2012c.

### 3.2.2.5. Radiación

La radiación en la zona tiene un comportamiento promedio de los últimos 7 años de 7,198.36 MJ/m<sup>2</sup>/año, y con un promedio mensual de 599.86 MJ/m<sup>2</sup>/Mes y el promedio diario de 19.72 MJ/m<sup>2</sup>/día (CENGICAÑA; 2012c).

El Brillo Solar tiene un comportamiento promedio anual 2,494.23 Horas-Luz al año, con un promedio mensual de 207.85 Hora-Luz y el promedio diario de 6.83 Horas-Luz (CENGICAÑA; 2012c).

**Cuadro 3 Comportamiento de la radiación y brillo solar en el período de enero 2006 abril 2012 de la estación meteorológica San Antonio El Valle (MAG-SAV) -91.476996, 13.995364 10 msnm.**

MES	RADIACION (MJ/m <sup>2</sup> )		BRILLO SOLAR (HRS-LUZ)	
	MENSUAL	DIARIO	MENSUAL	DIARIO
ENERO	571.82	18.45	216.22	6.97
FEBRERO	587.94	20.79	207.25	7.33
MARZO	696.40	22.46	231.49	7.47
ABRIL	657.42	21.91	213.93	7.13
MAYO	627.64	20.25	208.37	6.72
JUNIO	577.85	19.26	195.50	6.52
JULIO	639.95	20.64	215.28	6.94
AGOSTO	629.96	20.32	208.34	6.72
SEPTIEMBRE	558.01	18.60	185.71	6.19
OCTUBRE	548.50	17.69	191.36	6.17
NOVIEMBRE	548.42	18.28	205.13	6.84
DICIEMBRE	554.45	17.89	215.65	6.96

Fuente: CENGICAÑA, 2012c.

### 3.2.2.6. Humedad relativa

La humedad relativa es importante en la zona por los procesos de evapotranspiración ligados a la frecuencia del riego y a la aplicación de Madurantes y durante el año tiene un valor promedio de 80.86 % y su comportamiento mensual se describe a continuación.

**Cuadro 4 Comportamiento de humedad relativa en el período de enero 2006 abril 2012 de la estación meteorológica San Antonio El Valle (MAG-SAV) -91.476996, 13.995364 10 msnm.**

Mes	Promedio Mensual	Mínimo Mensual	Máximo Mensual
Enero	75.47	45.16	97.62
Febrero	76.28	46.47	98.29
Marzo	76.98	48.11	98.25
Abril	78.20	50.29	98.63
Mayo	81.94	58.74	98.97
Junio	84.29	63.11	99.30
Julio	83.71	61.49	99.42
Agosto	84.56	62.53	99.46
Septiembre	85.70	64.60	99.53
Octubre	84.88	62.16	99.58
Noviembre	81.58	52.82	99.42
Diciembre	79.26	48.91	99.07
Anual	80.86	55.00	98.92

Fuente: CENGICAÑA, 2012c.

### 3.2.3. Suelos

Según el estudio semi-detallado de la zona cañera de Guatemala, los suelos de la zona se presentan los órdenes que se describen a continuación (Villatoro B; Perez, O. 2012)

#### 3.2.3.1. Entisoles

Son suelos menos evolucionados presentes en la región, con horizonte AC. Tienen poca o ninguna evolución y muy poca o ninguna evidencia de horizontes genéticos. En su mayoría son suelos permeables de texturas gruesas y arenosas. El subsuelo de los Entisoles generalmente es arenoso y son suelos que presenta déficit de agua en el verano (Villatoro B; Perez, O. 2012)

Dentro de la Zona se presentan dos subgrupos que son:

##### 3.2.4.1.1. Consociación Balcanes BA<sub>p</sub>

Pertencen los suelos del subgrupo Typic Ustipsamments con familias de textura gruesa sobre arena en un 80 por ciento. Son valles y explayamientos aluviales, en forma de fajas estrechas y larga que se amplían en el cuerpo y pie de los abanicos, formando bancos y cubetas de relieve plano a ligeramente plano. Materiales

principalmente de texturas arenosa y limosa, mezclados con cenizas volcánicas y materia orgánica humificada (CENGICAÑA, 2006b).

Suelo no evolucionado de perfil AC, muy permeable, con déficit de agua en el verano, en algunas zonas presenta exceso de sales en el perfil. De relieve plano con pendiente de 0-1 por ciento, bien drenados y sin erosión. Estos suelos representa el 10 por ciento del área de la Zona en estudio (CENGICAÑA, 2006b).

#### **3.2.3.1.2. Consociacion El agrario EA<sub>p</sub>**

El subgrupo típico de este suelo en un 75 por ciento es el Typic Tropoflents. Suelos no evolucionados, de perfil AC, con horizontes humíferos enterrados; suelos de texturas medias y gruesas; el subsuelo generalmente arenoso y gravilloso. Suelo plano, bien drenado, no erosionado y profundo. En la Zona estos suelos representan el 20 por ciento del área (CENGICAÑA, 2006b).

#### **3.2.3.2. Molisoles**

Son los suelos predominantes en la región cañera de Guatemala, se encuentran principalmente en la zona litoral cerca de la planicie costera, en relieve plano a ligeramente plano. Son suelos medianamente evolucionados con horizontes ABC y AC. Presentan un horizonte superficial de espesor variable y de color oscuro con contenido medio de material orgánica. Presenta una saturación de bases mayor al 50 por ciento en todo el perfil con un grado de estructuración moderado a fuerte. En la mayoría son suelos de texturas francas y franco arenosas, con subsuelo frecuentemente arenoso (Villatoro B; Perez, O. 2012).

##### **3.2.3.2.1. Complejo Pacifico-Balcanes (PD.BA)<sub>p</sub>**

Cuerpo y parte distales de los abanicos aluvio-coluviales, de relieve predominantemente plano a ligeramente plano y ligeramente erosionados. Los aluviones de textura media y moderadamente finas están mezclados con cenizas volcánicas y pómez (CENGICAÑA, 2006b).

Suelos medianamente evolucionados, de perfil ABC y AC, humíferos, de colores oscuros, de consistencia friable y suelta; de texturas francas, franco arenosas y franco arcillo arenosas y de subsuelo frecuentemente arenoso; de reacción neutra a



ligeramente ácida y de complejo de cambio saturado en todos los horizontes del perfil (CENGICAÑA, 2006b).

El subgrupo predominante en un 40-60 por ciento es el Fluventic Hapludolls, que en la Zona representan el 65 por ciento del área (CENGICAÑA, 2006b).

### **3.2.3.3. Andisoles**

Ocupan el 26 de los suelos de la zona cañera de Guatemala y predominan en las zonas altas y media y en algunas partes de la zona baja. Son suelos poco evolucionados derivados de ceniza volcánica, oscuros, con alto contenido de materia orgánica, de baja densidad aparente y consistencia friable a suelta. Estos suelos tienen excelentes propiedades físicas con texturas francas y franco arenosas. Desde el punto de vistas químico, tienen ciertas limitaciones como la alta retención de fosfatos y sulfatos (Villatoro B; Perez, O. 2012).

#### **3.2.3.3.1. Consociación Tropicana TF<sub>p</sub>:**

Suelos poco evolucionados de perfil ABC y AC, de colores oscuros humíferos, de baja densidad aparente, de consistencia friable a suelta, desarrollos esencialmente sobre materiales amorfos; de reacción principalmente ácida y de alta retención de fosforo (CENGICAÑA, 2006b).

El subgrupo de esta consociación en un 70 por ciento es el Typic Hapludands, con relieve plano, bien drenados y sin erosión. Representan el 5 por ciento de los suelos de la zona (CENGICAÑA, 2006b).

### **3.2.3.4. Fertilidad**

La zona de acuerdo con los mapas de fertilidad se caracteriza por tener contenidos bajos de materia orgánica (MO) en un rango de menor o igual al 3 por ciento. Con niveles adecuados de fosforo en un rango de mayor o igual a 30.01 ppm, mientras que para potasio, los valores están el rango de mas de 300 ppm de K intercambiable. La reacción de suelo o pH es predominantemente en el rango de mayor de 8.1 y existen área con reacción de 6.51 – 7.20 de menor presencia (CENGICAÑA, 2006b).

#### 3.2.4. Clasificación de zonas de vida:

La zona de Río Lindo, se encuentra la zonificación de Vida de Holdrige modificada por Cruz S. JR De la (1982), ubicada dentro del Bosque Húmedo Subtropical (Cálido), bH-S (c), esta zona vida es un segmento del Húmedo Subtropical, corresponde a la zona baja, que es una faja de 10-22 Km de ancho, que desde El Salvador a México en la costa sur. También comprende la parte norte del departamento de Peten.

Las condiciones climáticas en la costa sur tienen un patrón de lluvias que va des 1,200 has 2,000 mm como promedio anual, la biotemperatura son alrededor de los 27°C, la evapotranspiración potencial puede estimarse en promedio de 0.95.

La topografía correspondiente ha esta zona de vida poseen generalmente una topografía suave con una altura que varia desde 0 a 800 msnm, la vegetación natural esta constituida especialmente por: *Sterculia apetala*, *Platymiscium dimorphandrum*, *Chlorophora tinctoria*, *Cordia alliodora* y otras mas.

Anteriormente esta zona estaba sembrada con algodón, actualmente predominan cultivo de caña de azúcar, palma africana, banano, maíz y pastizales (Cruz S, JR De la. 1982) y (CENGICAÑA, 2006d).

## **IV. OBJETIVOS.**

### **4.1. Objetivo general**

Sistematizar la experiencia de la aplicación comercial de los productos para la maduración inducida en caña de azúcar, en la zona de Río Lindo, La Gomera para establecer los puntos de control del proceso durante su ejecución y su análisis anual.

### **4.2. Objetivos específicos**

- 4.2.1.** Establecer las respuestas comerciales a los productos aplicados para la maduración inducida en caña de azúcar, como base para la definición de los puntos óptimos de cosecha después de la aplicación de madurante.
- 4.2.2.** Comparar las respuestas comerciales de los productos aplicados con los resultados de las investigaciones realizadas.
- 4.2.3.** Determinar cuáles son los factores críticos que están afectando la respuesta de la maduración inducida.

## **V. METODOLOGÍA**

En el presente trabajo se sistematizó las experiencias de la maduración inducida de caña de azúcar en la Zona de Río Lindo, La Gomera, a partir de la zafra 2007-2008 a la zafra 2011-2012, área de importancia para la empresa Madre Tierra y en la cual se tiene conocimiento de sus condiciones y características, así como del comportamiento del clima en dicho períodos; además al delimitar esta región pudo reducir la variabilidad que distorsionaba el análisis de los datos comerciales y el conocimiento del área permitió una adecuada estratificación y una mejor ordenación de la información para la generación de los análisis de forma más ajustada, y así poder dar respuesta a los objetivos, la metodología se estructuró en una parte general y una parte específica para cada objetivo.

### **5.1. Metodología general**

#### **5.1.1. Base de datos**

Para realizar los análisis propuestos se realizó la construcción de una base de datos de los campos aplicados en el período estudiado, para lo cual se consultaron los registros de los datos archivados de producción, área, variedad, fecha de cosecha, productos aplicados, producción obtenida, rendimiento de azúcar, número de cortes, estimados de producción. Luego esta información fue revisada y analizada para depurar la información de los registros que estuvieran fuera de rango, para esto se utilizó un diagrama de tallo y hoja.

#### **5.1.2. Registros climáticos**

Para realizar la interpretación y análisis de los datos se obtuvieron los datos de la Estación Meteorológica San Antonio El Valle (MAG-SAV), para los períodos del año 2007 al Abril del 2012. Con esta información se realizaron los análisis para determinar la relación de la amplitud térmica y la lluvia en los resultados obtenidos en el rendimiento.

#### **5.1.3. Revisión de los resultados experimentales**

Se consultó la información experimental con respecto al tema de madurantes, luego se buscaron autores específicos para consultar los resultados obtenidos en dosis, variedades, días a la cosecha después de la aplicación y productos.

## **5.2. Metodología específica**

### **5.2.1. Áreas aplicadas**

Se realizó una comparación entre las áreas aplicadas con madurante y las no aplicadas de la zona con respecto a la empresa, para calcular el porcentaje de lo aplicado con madurante en la zona con respecto al total aplicado en la empresa.

Se utilizó una comparación utilizando la base de datos de las áreas aplicadas y no aplicadas en la zona, para determinar los porcentajes de aplicación por temporada que se presentan en cuadro. Los porcentajes anuales, se interpretaron con el comportamiento del clima del año.

### **5.2.2. Productos aplicados**

Se determinó los productos aplicados por año y el porcentaje de acuerdo con el área aplicada para cada zafra.

Con los datos se realizó una comparación de medias, realizando una prueba de Z de 2 colas al 5 % de significancia, para comparar dos productos, cada vez. Los resultados se compararon con los resultados experimentales obtenidos.

### **5.2.3. Épocas de aplicación**

Se realizó un análisis gráfico del rendimiento por tercio para cada zafra, y de esa manera observar la tendencia del rendimiento, luego se revisó el comportamiento del clima para explicar las variaciones en el comportamiento de la respuesta de acuerdo con lo reportado en la revisión bibliográfica.

Luego se realizó una comparación de media, realizando una prueba de Z de 2 colas al 1 % de significancia para comparar la respuesta entre tercios de cosecha.

### **5.2.4. Dosis**

Para el análisis de la respuesta a las dosis, se determinó sobre que producto trabajar de acuerdo con los porcentajes de aplicación. Luego para reducir la variabilidad se trabajó sobre las principales variedades sembradas; luego se determinó la dosis en cc de producto/tonelada de caña, con lo cual se realizó un análisis de regresión y correlación entre la dosis y el rendimiento, para toda la zafra y para cada tercio de cosecha. De manera gráfica se determinaron los rangos de dosificación óptimos. Los resultados se compararon con los obtenidos experimentalmente.

### **5.2.5. Días a cosecha**

En la base de datos, se elaboró un rango de los días a la cosecha de las aplicaciones en el período estudiado, además del error de estimación de la producción para cada año, por la influencia de este.

Se realizó un análisis de regresión y correlación entre los días a la cosecha después de la aplicación y el rendimiento donde se obtuvo un modelo matemático.

Se utilizó el criterio de la primera derivada para obtener el máximo rendimiento y determinar el punto óptimo de cosecha.

Para la construcción del rango de cosecha, se utilizó el punto de máximo rendimiento para la elaboración de dos modelos matemáticos lineales, a los cuales se determinó el coeficiente de regresión y el coeficiente de Pearson, con esto modelos uno para la parte incremental del rendimiento y el otro en la parte decreciente; se utilizaron las pendientes para determinar el rango.

Los resultados del rango obtenido se compararon con los resultados experimentales.

#### **5.2.6. Variedades**

Se analizó la composición varietal del período en estudio, y se consideraron las 5 principales variedades.

Se presentaron las medias del rendimiento de las 5 variedades principales en la zona para cada zafra.

Se realizó una comparación de medias utilizando la prueba de Z al 1 % de significancia para comparar la respuesta de las variedades al madurante.

La respuesta a los productos se estableció de manera gráfica con el promedio del rendimiento de las 5 variedades en el período para cada producto.

Los resultados obtenidos se compararon con los obtenidos a nivel experimental.

#### **5.2.7. Análisis de la mejora**

Se realizó una reunión de análisis con el equipo de trabajo donde cada una de las diferentes partes que interaccionan durante el proceso presentó sus puntos de vista de las debilidades actuales del proceso, mediante la utilización de un diagrama de pescado o causa y efecto se agruparon en categorías e orden de prioridad para establecer compromisos y planes de acción. Se determinó mediante el análisis los factores críticos de la operación.

## VI. RESULTADOS Y DISCUSION

### 6.1. Áreas aplicadas

Para la zafra 2006/2007 se aplicaron 15,007 ha en la empresa, y para la Zona de Río Lindo en el mismo período fueron 6,170 ha que correspondió al 41 % del área total aplicada para ese período. Para la zafra 2011/2012 se aplicaron un total de 16,457 ha, en el área de Río Lindo fueron 5,493 ha que fue un 33 % del área aplicada. El incremento en los últimos 5 años se entro en un 10 % a nivel empresa y en la zona de Río una reducción de un 8 % en el área aplicada con respecto al área total aplicada en la empresa.

Analizando con respecto al área para el período 2006/2007 la zona de Río Lindo tenia bajo administración 6,347 ha con respecto al área administrada para ese período correspondió que el 97 % del área de la zona se le aplico madurante. Para la zafra 2011/2012 la zona de Río Lindo tenia bajo administración 5,640 ha si relacionamos el área aplicada en ese mismo período encontramos que se volvió ha aplicar el 97 % del área bajo administración en la zona.

**Cuadro 5 Áreas aplicadas en los Últimos 5 años en la zona de Río Lindo con Madurante.**

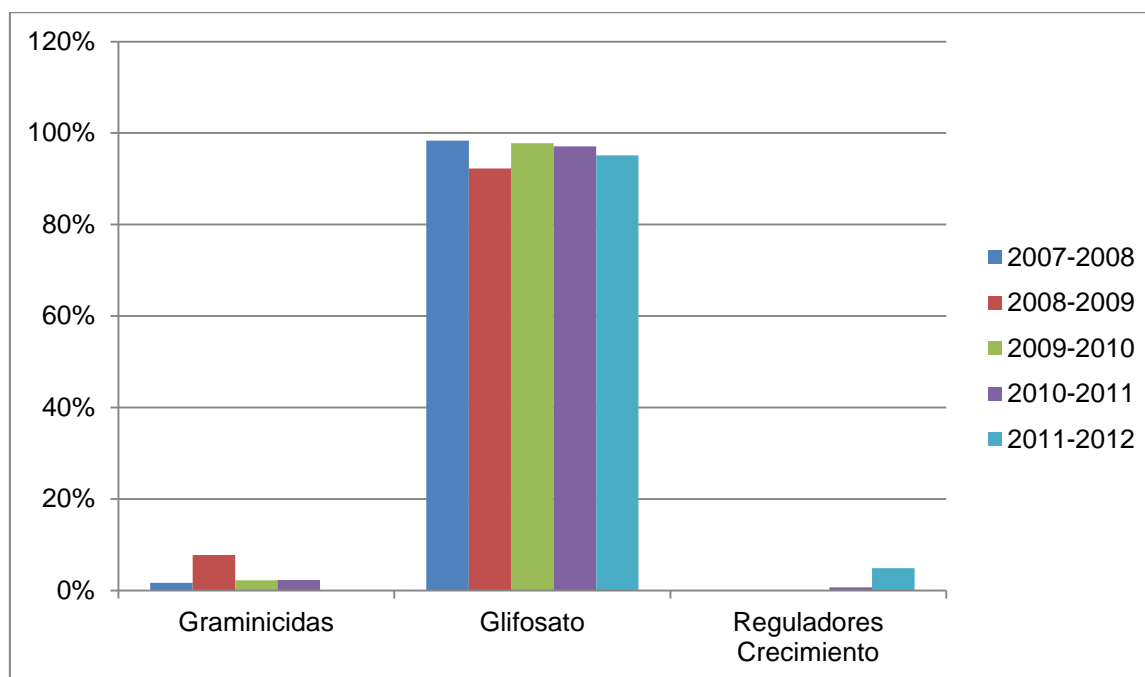
PARAMETROS	PERÍODOS DE ZAFRA				
	2007/2008	2008/2009	2009/2010	2010/2011	2011/2012
<b>Área aplicada Empresa (ha)</b>	<b>15,008</b>	<b>15,423</b>	<b>16,285</b>	<b>15,417</b>	<b>16,458</b>
<b>Área administrada Zona (ha)</b>	<b>6,365</b>	<b>6,362</b>	<b>6,413</b>	<b>5,606</b>	<b>5,648</b>
<b>Área Aplicada Zona (Ha)</b>	<b>6,170</b>	<b>6,232</b>	<b>6,323</b>	<b>5,372</b>	<b>5,493</b>
<b>% del Área Aplicada</b>	<b>41%</b>	<b>40%</b>	<b>39%</b>	<b>35%</b>	<b>33%</b>
<b>% del Área Administrada</b>	<b>97%</b>	<b>98%</b>	<b>99%</b>	<b>84%</b>	<b>98%</b>

Los porcentajes de la aplicación de acuerdo con el área administrada muestran lo importante que es la actividad de madurantes para la zona de Río Lindo, que en los últimos 5 años esta por arriba del 97 % solamente para la zafra 2010/2011 el porcentaje de aplicación correspondió al 84 % del área, esto se presentó por una

parte del área se no se pudo cosecha, debido a la inundaciones que provoco la tormenta Agatha el 29 de mayo del 2010, hicieron que se perdieran las plantaciones.

## 6.2. Productos aplicados

Durante el período se ha aplicado diferente productos como madurante en la empresa, pero la base es el Glifosato como se observa en la gráfica siguiente.



**Gráfica 13 Productos aplicados como madurante del período 2007/2008 al 2011/2012 en Madre Tierra.**

Dentro de los graminicidas se ha utilizado Fluazifop y Cletodim, mientras que como Glifosato, la Sal isopropil Amina de Glifosato con responde a un 75 % a y el resto corresponde a Sulfosato ya sea como sal Amonio o Potásica. En la zona de Río Lindo la aplicación de Sal isopropil Amina corresponde al 97 % del área aplicada en promedio en los últimos 5 períodos y en el periodo 2011/2012 fue el 100 %, mientras que 3 % ha correspondido a productos graminicidas, donde lo que ha predominado es Fluazifop, pero que para la ultima zafra no se aplicaron ningún producto con esta acción.



**Cuadro 6 Comparación de medias entre los diferentes productos aplicados en la zona de Río Lindo en los períodos 2007/2008 a 2011/2012.**

Condición	Media (kg az/Tm)	Varianza	N	Estadístico Z Calculado		Comparador Z ( $\alpha$ 5%) 2 colas
				Sin Madurante	Fluazifop	
<b>Fluazifop</b>	<b>109.63</b>	<b>123.36</b>	<b>58</b>	<b>(0.90)</b>		<b>1.64</b>
<b>Glifosato</b>	<b>112.62</b>	<b>89.78</b>	<b>1,481</b>	<b>(4.90)</b>	<b>(2.02)</b>	
<b>Sin Madurante</b>	<b>108.10</b>	<b>138.69</b>	<b>175</b>		<b>0.90</b>	

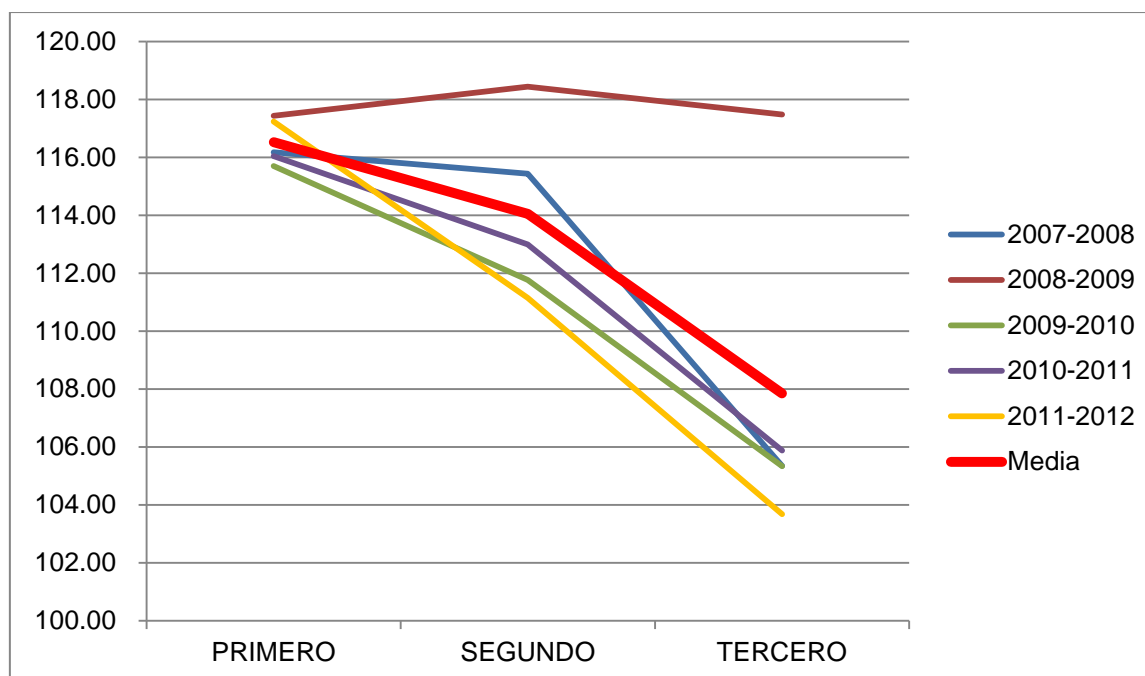
En análisis de las media se puede concluir que el Glifosato como Sal Isopropilamina, es estadísticamente superior a los campos sin madurante y a los campos aplicados con el producto Fluazifop, mientras que este producto es estadísticamente igual a los campos no aplicados con un nivel de significancia del 5 por ciento. Con esto se puede observar que la decisión que se tomo en el período 2011/2012 de no aplicar productos graminicidas, fue correcta.

Los incrementos que se ha logrado con las aplicaciones de Glifosato comparado con la no aplicación son de 4.52 kg de azúcar por tonelada que es un incremento del 4 por ciento, en la concentración de sacarosa. Mientras que Glifosato representa 2.99 kg de azúcar por tonelada contra Fluazifop que representa un 3 por ciento, más en la concentración de sacarosa.

### **6.3. Épocas de aplicación**

La respuesta del madurante debemos considerar que las aplicaciones normalmente se inician a mediados de septiembre a inicios de noviembre, para las cañas del primer tercio de cosecha, mientras que del mediados de noviembre a mediados de enero corresponde las aplicaciones del segundo tercio de cosecha y de mediados de enero a mediados de marzo las aplicaciones del tercer tercio de cosecha, estas condiciones afectan las respuestas al rendimiento del madurante o pueden acentuar los daños.

De acuerdo con los tercios de cosecha, se puede observar que los mejores rendimientos los obtenemos en el primer tercio de cosecha, y luego iniciamos a decrecer como se observa en la gráfica siguiente:

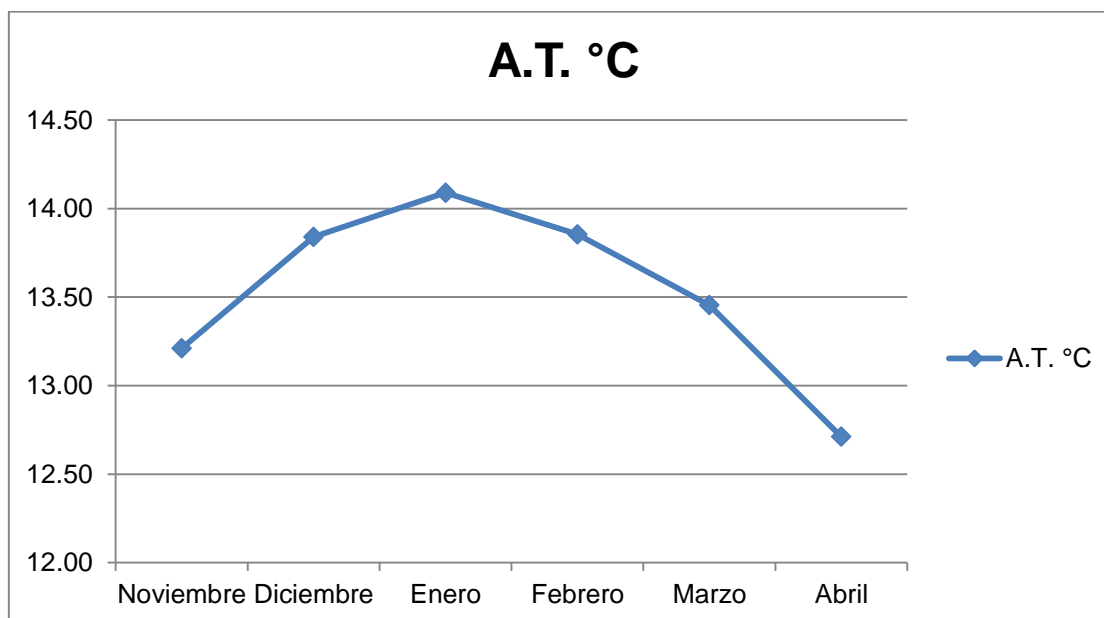


**Figura 14 Comportamiento del rendimiento industrial en kg az. /ton métrica en la zona de Río Lindo, aplicado con madurante en el período 2006/2007 -2011/2011**

Se puede analizar que el comportamiento siempre es hacia decrecer hacia el tercer tercio, donde el comportamiento de los factores ambientales es importante, se puede observar que la mejor zafra fue el período 2008/2009 donde el promedio de amplitud térmica para la zafra fue  $14.73^{\circ}\text{C}$ , mientras que para la zafra 2011/2012 la amplitud térmica fue de  $12.70^{\circ}\text{C}$  que es el valor mas bajo de las ultimas 5 zafras para la zona de Río Lindo.

La lluvia acumulada durante el período de zafra para la zafra 2008/2009 según los datos de la Estación San Antonio fue de 27.80 mm de noviembre 2008 a abril 2009 que corresponde a los menores valores reportados en el períodos, la zafra que presenta mas lluvia corresponde al período 2009/2010 donde en el período de zafra se acumularon 503 mm en el período de zafra, pero en noviembre se reportaron 138 mm, que es el 27 % de la lluvia acumulada y es el valor mas alto de lluvia reportado en noviembre y corresponde con el valor mas bajo de rendimiento, mientras que en el mes de abril para este período se acumularon 245 mm que corresponden al 48 % de la lluvia, pero para esta zafra esta finalizo el 14 de abril y la lluvia en ese período acumulada en ese período fue de 197 mm pero continua siendo el período mas

lluvioso, mientras que la zafra 2011/2012 solo acumulo de lluvia 48.4 mm siendo el segundo período de menos lluvia, pero presentó en promedio 10 mm de lluvia en cada mes de zafra excepto para Enero.



**Figura 15 Comportamiento de la amplitud térmica (A.T.) promedio mensual en °C en la zona de Río Lindo para el período de zafra 2007/2008 - 2011/2012.**

Con esto se puede encontrar que la respuesta en el rendimiento de las aplicaciones de madurante es muy dependiente del comportamiento de la amplitud térmica como lo menciona los autores y de las lluvias dentro del período de zafra principalmente en los períodos de transición que se presenta al final de la época de lluvias y al principio. Además de los efectos de la alteraciones del fenómeno de Niño-Niña que provocan anomalías en la distribución de las lluvias durante el verano.

**Cuadro 7 Comparación de medias entre los diferentes tercios de cosecha en la zona de Río Lindo en los períodos 2007/2008 a 2011/2012.**

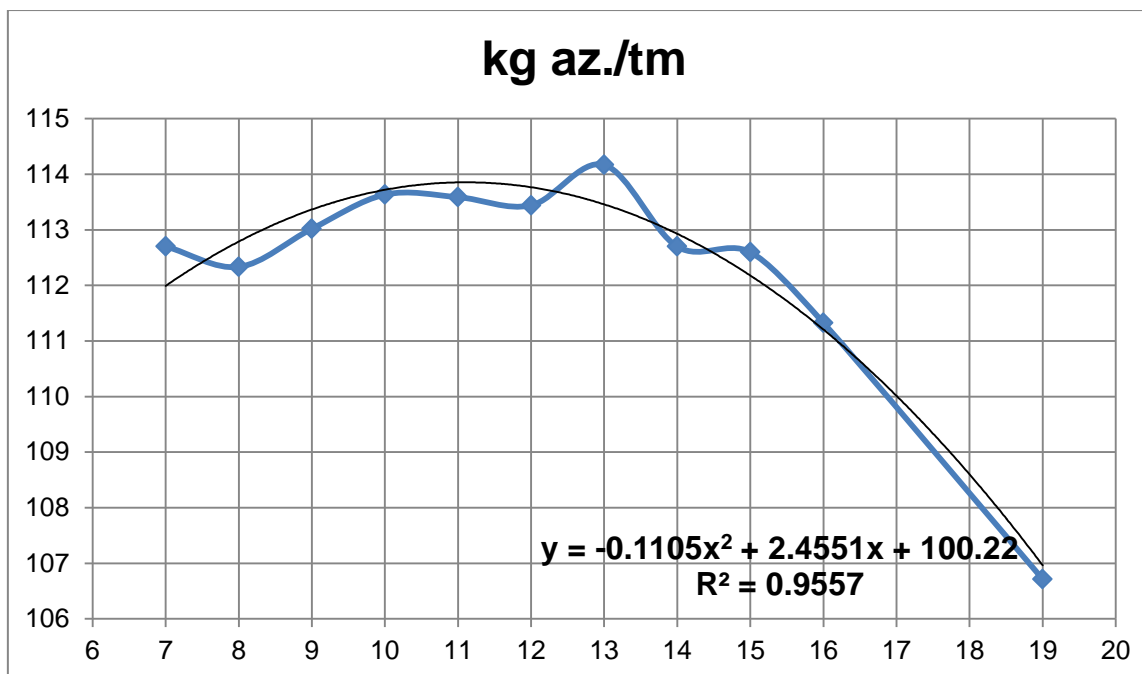
Condición	Media (Lb Az/Tc)	Varianza	N	Estadístico Z Calculado		Comparador Z ( $\alpha$ 1%) 2 colas
				PRIMERO	SEGUNDO	
PRIMERO	116.47	53.80	506.00		(3.24)	2.32
SEGUNDO	113.68	53.65	551.00	3.24		
TERCERO	107.31	130.85	542.00	11.96	9.53	

Al realizar la prueba de medias entre los tercios se puede analizar que las respuestas del madurante son diferentes estadísticamente para los tres, se observa

que al comparar el primero contra el segundo a pesar de la diferencia de 2.79 kg az/tm es diferente a este, el primero comparado contra el tercero la diferencia se amplía a 9.16 kg az/tm, mientras que cuando comparamos el segundo contra el tercero la diferencia es de 6.37 kg az/tm todas las comparaciones se realizaron en una prueba de dos colas al 1 % de significancia.

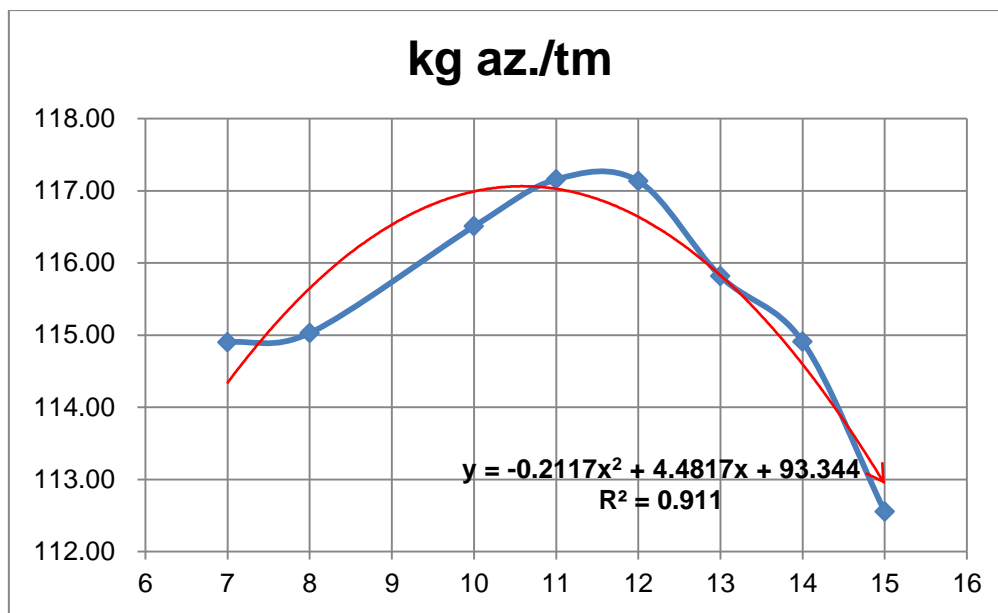
#### **6.4. Dosis:**

Basados en que la sal isopropilamina de glifosato es el producto que se aplica en un 97 % en la Zona de Río Lindo, se realizaron los análisis de dosis para este producto en el período de estudio, y los que se discuten adelante. Para este análisis se realizó sobre las principales variedades de caña y se utilizaron CP72-2086, CP73-1547 y CP88-1165 que representa más del 90 % del área sembrada en la zona de Río Lindo, las otras variedades se excluyeron del análisis para reducir la variabilidad. Además se revisaron los datos para excluir los datos que estaban fuera de un rango, estos valores se presenta por liquidaciones del proceso industrial en períodos como Navidad, Año Nuevo, Semana Santa y paros por reparación, donde no existen ingreso de caña y se liquida el proceso, es por eso que antes y después de estos períodos los datos presenta el efecto que en la liquidación presentan valores muy altos y al principio nuevamente del proceso valores muy bajos.

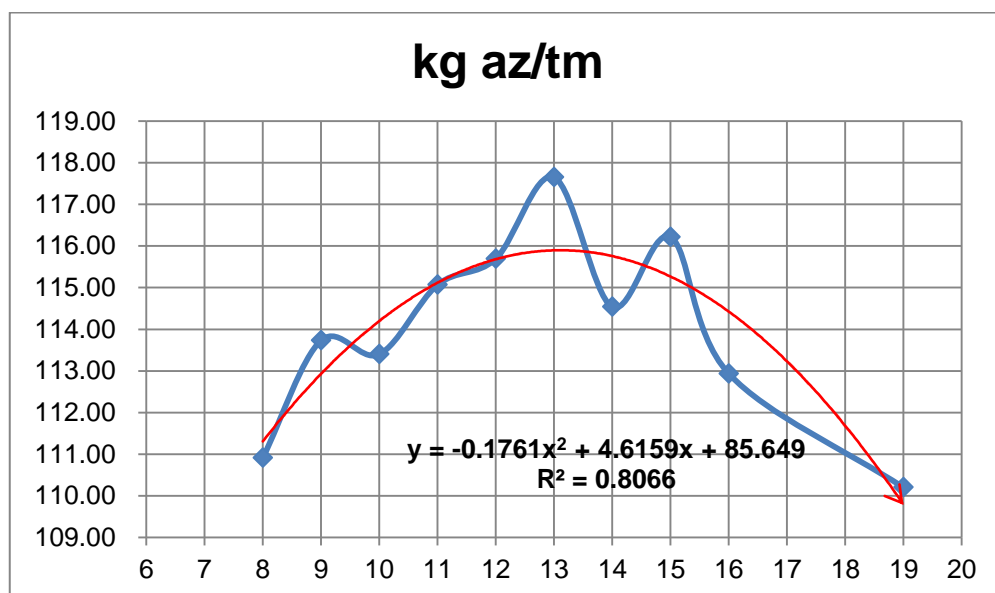


**Figura 16** Respuesta de los cc/ton de glifosato aplicados como madurante en la zona de Río Lindo durante los períodos de zafra 2006/2007 – 2011/2012.

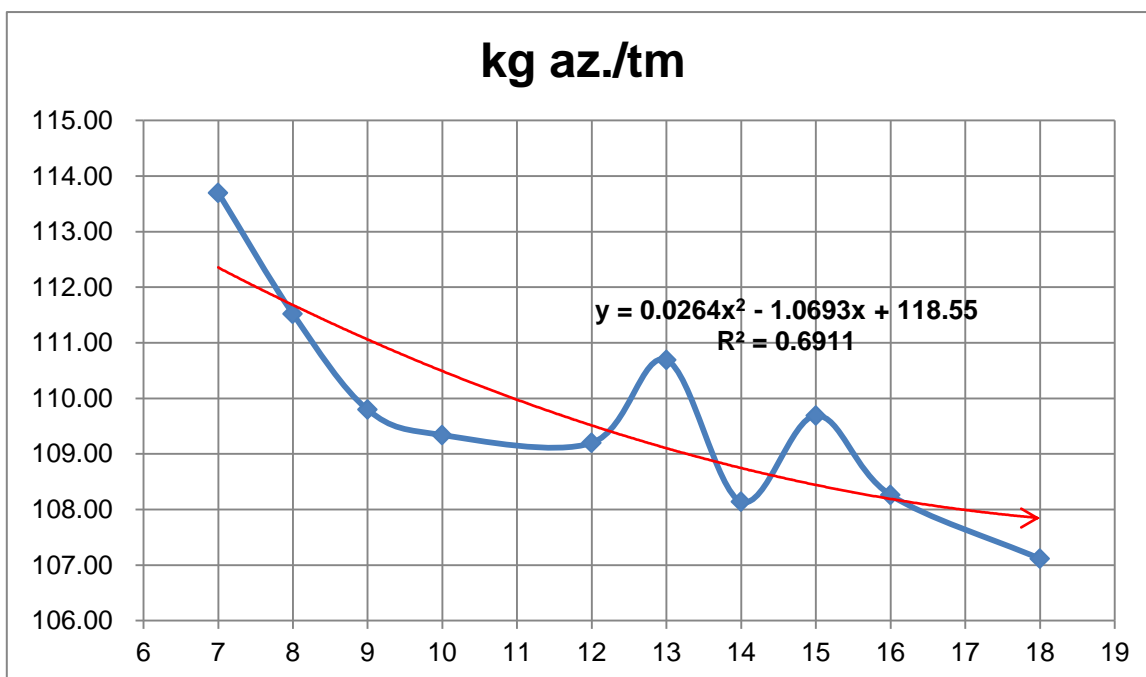
En esta figura se puede observar que el rango óptimo para alcanzar el mejor rendimiento industrial, analizando de manera visual la gráfica se puede establecer que esta entre 10 -12 cc/tonelada de caña, utilizando la función se encontró el óptimo en 11.50 cc/ton, como glifosato, ya en diferentes trabajos se menciona este rango como el de mejor respuesta del cultivo, si bien este rango es el promedio para todo el período, de acuerdo con los tercios de cosecha, la respuesta puede variar.



**Figura 17** Respuesta de los cc/ton de glifosato aplicados como madurante en la zona de Río Lindo durante los períodos de Zafra 2006/2007 – 2011/2012, para el primer tercio de cosecha.



**Figura 18** Respuesta de los cc/ton de glifosato aplicados como madurante en la zona de Río Lindo durante los períodos de zafra 2006/2007 – 2011/2012, para el segundo tercio de cosecha.



**Figura 19** Respuesta de los cc/ton de glifosato aplicados como madurante en la zona de Río Lindo durante los períodos de Zafra 2006/2007 – 2011/2012, para el tercer tercio de cosecha.

Al comparar las gráficas por tercio, se puede observar que el rango general de 10 – 12 cc de glifosato/Tc, se mantiene para las aplicaciones del primero y segundo tercio de cosecha, pero para las aplicaciones del tercer tercio de cosecha, la respuesta de la dosis no es consistente para este rango y sugiere una menor dosificación, este tercio presenta condiciones muy heterogéneas, puesto que la humedad natural en algunos campos ha disminuido y la humedad es la proveniente del riego o de condiciones muy específicas de humedad; otro factor es también en inicio de las lluvias que afectan los procesos de cosecha y fabricación incrementando las pérdidas de sacarosa por manejo; y debemos considerar que los efectos de corcho y deterioro de los tallos que florecieron, afectan mucho más en este período.

### 6.5. Días a la cosecha

En los campos que se aplican con madurante existe una programación que predefine a los cuantos días después de la aplicación se realizara la cosecha de los mismo, y de acuerdo con los diferentes trabajos la respuesta de las aplicaciones de madurante con Glifosato, pueden obtenerse a partir del día 42 al 56 después de la aplicación (7-

8 semanas), para el caso de la Zona de Río Lindo el programa se construyo en ese período considerando el rango de 56 – 62 días después de la aplicación.

Este rango puede variar por diferentes factores, como lo son: variaciones en los estimados de producción, variaciones en el inicio de la zafra por lluvia o por atrasos en los procesos de reparación industrial, cambios al programa de ultima hora por negociaciones, por quemas criminales de los campos, ajustes de cuotas de los frentes de cosecha, por problemas en la rutas o caminos de abastecimiento al ingenio, por disponibilidad de mano de obra entre otros.

Como este es muy dinámico y las aplicaciones se ejecutan con 56 días de anticipación cualquier variación afecta en este sentido, es por eso que una vez iniciadas las aplicaciones de Madurante, en Madre Tierra se le brinda un seguimiento semanal a este parámetro para analizar las mejores acciones de ajuste al programa.

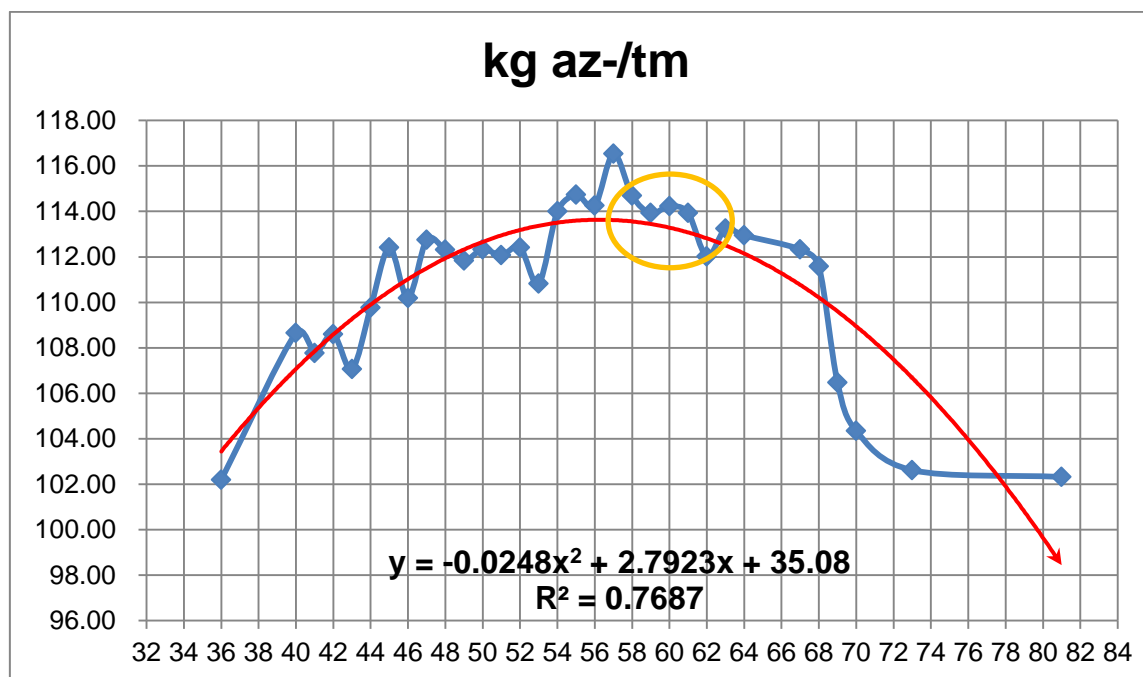
**Cuadro 8 Rangos de cosecha de porcentaje de las toneladas aplicadas con madurante en la zona de Río Lindo para los períodos 2007/2008-2011/2012.**

RANGO EN DIAS A COSECHA	PERÍODOS DE ZAFRA				
	2007/2008	2008/2009	2009/2010	2010/2011	2011/2012
< 28	3%	1%	1%	0%	1%
28-34	3%	2%	0%	2%	1%
35-41	5%	2%	1%	1%	1%
42-48	11%	9%	16%	8%	4%
49-55	37%	28%	30%	40%	30%
56-62	25%	41%	32%	37%	60%
63-69	14%	15%	19%	9%	4%
>69	2%	1%	0%	3%	0%
<b>Error del Estimado de Producción</b>	<b>-15%</b>	<b>-3%</b>	<b>9%</b>	<b>-2%</b>	<b>7%</b>

En cuadro 8 se observa que el mejor período para la cosecha fue para la zafra 2011/2012, donde se logro cosechar dentro del rango programado el 60 % de la caña, que tuvo un 7 % de incremento en la producción; mientras que para el período 2007/2008 se logro cosechar solamente el 25 % de la caña dentro del rango, la variación fue de 15 % menos en la producción de caña, con lo cual se estableció la relevancia de los estimados de producción en la programación y anteriormente en la dosificación.



El actual rango de 56 – 62 que se está utilizando en la programación de las aplicaciones, no concuerda con la revisión de literatura ya que lo ubica en la semana nueve después de la aplicación como se observa en la gráfica siguiente.



**Figura 20 Comportamiento del rendimiento en kg az-/tm de acuerdo con los días a cosecha en la caña aplicada con glifosato en el período de 2007/2008-2011/2012.**

Se puede ubicar que el rango de cosecha que actualmente se utiliza se encuentra en la parte decreciente de la curva, con lo cual estamos perdiendo sacarosa por la forma en que estamos realizando nuestra programación; utilizando el modelo estimado se procedió a calcular el punto de máximo fue de 56.29 días, donde el modelo estimado es de 113.68 kg az-/tm, haciendo una división de la curva del día 34 al 56 considerando la sección como una recta se estimó un modelo lineal con un Coeficiente de Pearson ( R ) de 0.88 y con un  $R^2$  de 0.77 la pendiente de la línea nos indicó que se 0.48 kg az-/tm hasta el día 56. El mismo análisis se realizó para la sección decreciente de la curva del día 56 hacia 81 donde el coeficiente de Pearson ( R ) fue de -0.91 y el  $R^2$  de 0.83 con lo cual la pendiente de la línea indicó una relación de decremento de 0.65 kg az-/tm de caña a partir del día 56 con esta información se estimó un nuevo rango de cosecha semanal que iniciaría en el día 52

con un rendimiento estimado de 111.76 kg az/tm y finalizaría en el día 58 con 112.44 kg az/tm. Esto representa una modificación de 4 días al rango utilizando en la programación para las aplicaciones de madurante.

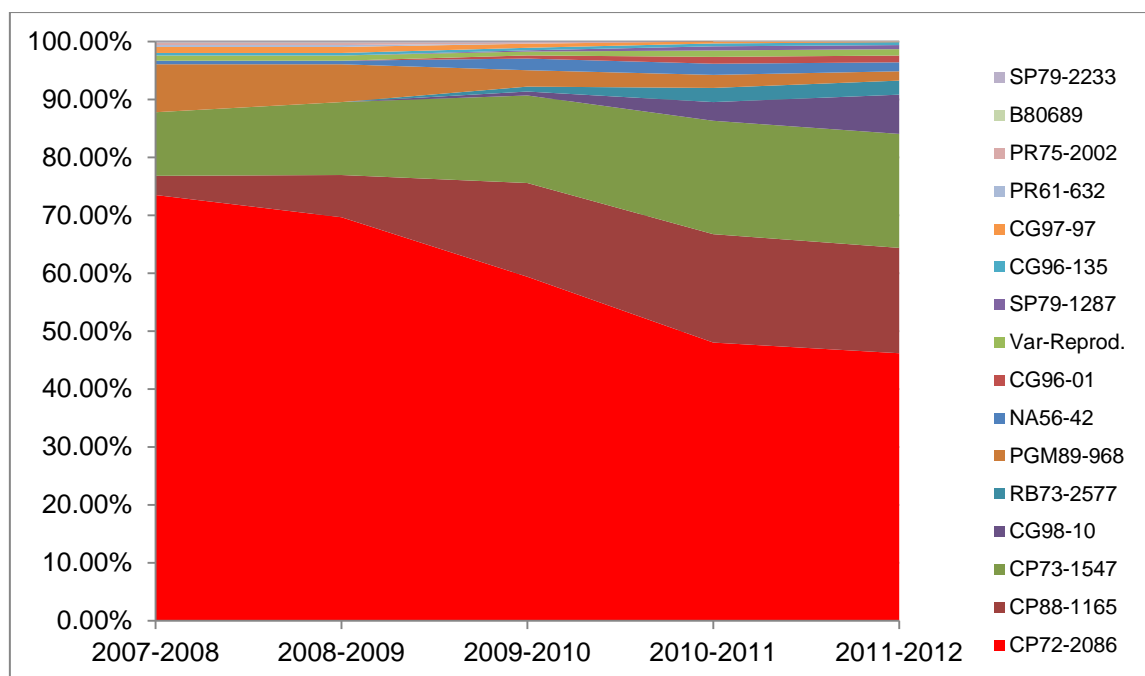
**Cuadro 9 Modelos lineales utilizadas para el cálculo del rango de cosecha de la caña aplicada con madurante en la zona de Río Lindo.**

Sección de la Curva	Modelo Estimado	Coefficiente de Pearson ( R )	Coefficiente de Correlación (R <sup>2</sup> )	Factor Lb Az/Tc/día
<b>Creciente</b>	<b>Y=0.4793X+88.098</b>	<b>0.88</b>	<b>0.77</b>	<b>0.48</b>
<b>Decreciente</b>	<b>Y=-0.653X+153.35</b>	<b>-0.91</b>	<b>0.83</b>	<b>-0.65</b>

Este decremento en el comportamiento de la curva de rendimientos en las cañas aplicadas con madurantes, cuando lo comparamos con los resultados a nivel de investigación obtenido por otros autores, en la mayoría de trabajos al respecto, el rendimiento e después de ciertos días tiende a decrecer, debido a que el efecto sobre la invertasa ácida, ha disminuido y se favorece el crecimiento de los brotes laterales o lalas que demanda azúcares para su crecimiento y desarrollo; y posteriormente puede presentarse una sobre maduración y un proceso deterioro de los tallos para cosecha. Al comparar los resultados con las investigaciones que ubican el rango de cosecha entre 42 y 62 días después de la aplicación, el rango obtenido concuerda con los trabajos experimentales revisados.

### **6.6. Respuesta de las variedades**

Para analizar la respuesta de las variedades, analizamos la composición varietal en la Zona de Río Lindo en el período donde determinamos a que grupo de variedades trabajaríamos serian a las 5 principales variedades.



**Figura 21 Composición varietal en la zona de Río Lindo en el período del 2007/2008 al 2011/2012.**

En la figura 21 se observa CP72-2086 es la principal variedad en la última zafra cosechada un 46.19 % del área de la zona, y ha venido decreciendo, por la variedad CP88-1165 que tiene un 18.18 % del área sembrada, luego CP73-1547 con un 19.67 %, tenemos en cuarto lugar a CG98-10 con 6.77 % y RB73-2275 con 2.42 % este grupo de 5 variedades hacen el 93.24 % del área sembrada.

VARIEDAD	PERÍODOS DE ZAFRA					Media en el Período
	2007-2008	2008-2009	2009-2010	2010-2011	2011-2012	
<b>CG98-10</b>			94	93	89	91
<b>RB73-2577</b>			96	94	98	95
<b>CP72-2086</b>	102	107	98	101	100	102
<b>CP88-1165</b>	101	107	102	103	101	103
<b>CP73-1547</b>	105	108	105	104	107	106

**Cuadro 10 Rendimiento promedio en kg azúcar/tonelada para las principales variedades en la zona de Río Lindo para el período zafra 2007/2008 a 2011/2012 aplicadas con madurante.**

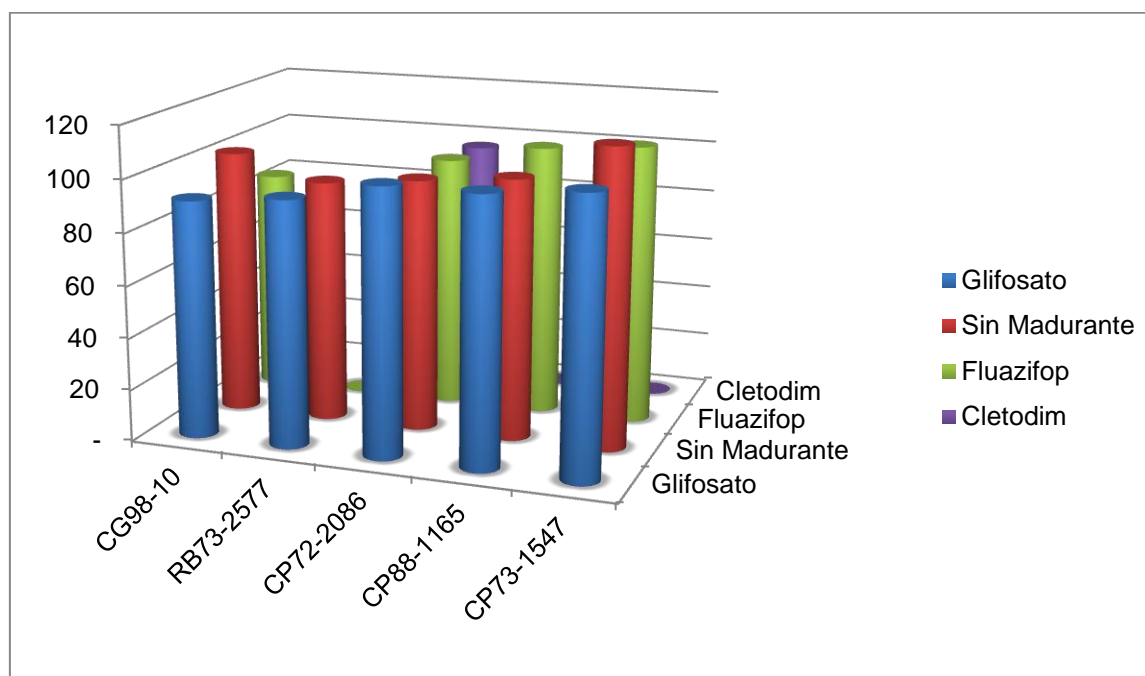
La variedad que presenta el mejor rendimiento en azúcar corresponde a la variedad CP73-1547 de manera muy estable en todos los períodos de zafra, esta es una variedad que se cosecha en el primer tercio, mientras que las variedades RB73-2577

y CG98-10 son del tercer tercio presentan los menores rendimientos en sacarosa y son variedades que no producen flor. La CP88-1165 es una variedad que esta concentrada su cosecha en el segundo tercio. La CP72-2086 por el contrario se cosecha en los tres tercios manifestando una buena estabilidad en todas las zafras.

**Cuadro11 Comparación del rendimiento promedio en kg azúcar/tonelada para las principales variedades en la zona de Río Lindo para el período 2007/2008-2011/2012 aplicadas con madurante.**

Variedad	Media	N	S <sup>2</sup>	CP73-1547	CP88-1165	CP72-2086	RB73-2275	Comparador 1 %
CG98-10	90	29	230.89	10.86	8.47	8.73	2.00	2.57
RB73-2577	95	14	130.25	7.51	5.35	5.42		
CP72-2086	102	1,173	363.70	6.59	0.46		(5.42)	
CP88-1165	102	184	226.01	4.54			(0.46) (5.35)	
CP73-1547	105	280	242.63				(4.54) (6.59) (7.51)	

Se observa que la CP73-1547 es diferente estadísticamente a todas las variedades y superior en rendimiento; la CP88-1165 es diferente a la RB73-2577 y CG98-10, pero igual a la CP72-2086; la RB73-2577 es igual a la variedad CG98-10.



**Figura 22 Respuesta de las 5 principales variedades a la aplicación de madurante en la zona de Río Lindo para el período 2007/2008 – 2011/2012**

En la gráfica se puede comparar que mejor respuesta es al Glifosato y presenta un similar comportamiento que el general por variedad aplicada por que representa el 97 % de las áreas aplicadas, solamente en la comparación del CP72-2086 y CP88-1165, la primera tiene una mejor respuesta al presentar un mejor rendimiento que el promedio general a nivel por variedad. Los datos experimentales reporta una respuesta diferente a las aplicaciones de madurante para cada variedad y a los productos aplicados.

### 6.7 Análisis de la mejora:

En una reunión con el equipo de trabajo se presentaron y discutieron los diferentes factores que afectan o que inciden en la mejor respuesta de la aplicación de madurantes.

Se utilizó la técnica de tormenta de ideas entre los participantes para luego clasificar y ordenar los diferentes factores utilizando como herramienta un diagrama de causa y efecto que se presenta y explican a continuación.

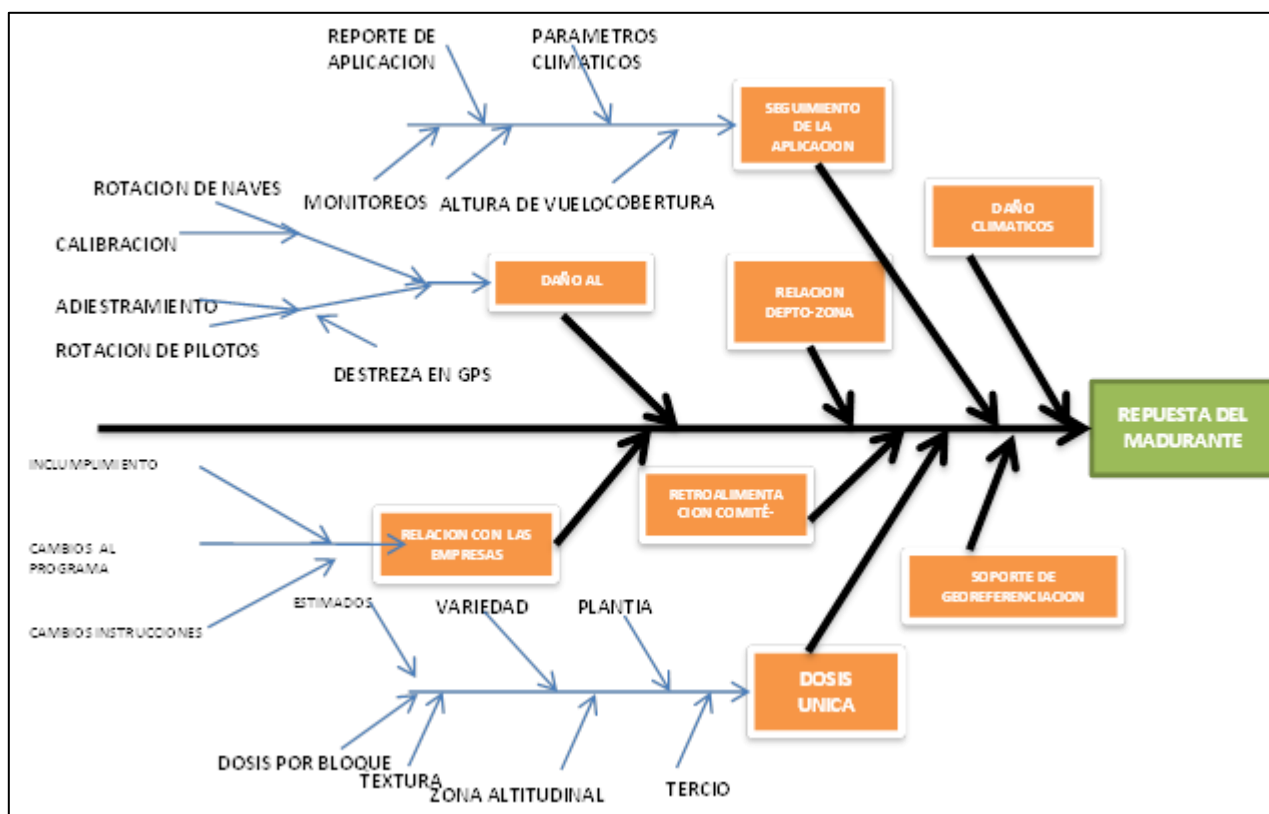


Figura 23 Diagrama clasificación de los factores que afectan la respuesta del madurante.

### **6.7.1. Daños por el clima**

En las últimas zafras por los efectos de las diferentes tormentas tropicales que se presentan en el invierno, se han presentado desbordamientos de los ríos, que han causado inundaciones provocando pérdida de cultivo y daños a la plantación. Estos daños han presentado condiciones no favorables para la aplicación de madurantes, puesto que dieron problemas con tierra, no se puede quemar, presencia de raíces adventicias y pudrición de tallos. Los análisis de los jugos reflejaba una concentración adecuada de sacarosa en los tallos, pero los resultados de la extracción eran totalmente diferentes, por la generación de altas pérdidas en los procesos de cosecha e industrialización por la calidad de la caña. Basados en la experiencia de estos fenómenos se cuestiona la aplicación de madurante bajo estas condiciones, sin una evaluación previa del porcentaje de daño.

Como resultado de las pérdidas, se ha realizado inversiones en estructuras de control de inundaciones, con diseños y criterios técnicos e hidrológicos que buscan reducir los daños por estos fenómenos.

### **6.7.2. Soporte de geo- referenciación**

La aplicación actualmente está realizando utilizando sistemas de posicionamiento satelital (GPS) que para poder realizar requieren la definición de las coordenadas de los polígonos de aplicación, en algunas áreas que se han sembrado por rápida adquisición y por el área el soporte de esta información no es la correcta, generando errores de ubicación de las naves, que se deben corregir con banderas para delimitar los bloques. Para solventar esto se identificaron las fincas donde se presentó este inconveniente, y se están rectificando mediante el levantamiento de los polígonos en tierra con GPS.

Los polígonos se generan previos a la aplicación para analizar la mejor orientación de vuelo, ubicación de franjas de seguridad y ubicación de diferentes obstáculos en el mismo. Pero como regla todos los bloques deberán siempre ser delimitados con banderas.

### **6.7.3. Dosis única**

La utilización de una única dosis presenta limitaciones si se consideran las diferentes condiciones bajo las cuales de trabajar la acción madurante en cuanto variedades,

tipos de suelos, tercios de cosecha, condiciones climáticas y diferentes ambientes de manejo, por lo cual se consideran que la utilización de un rango, es la mejor forma de administrar las condiciones heterogéneas para la aplicación.

Como una acción de mejora se ha planteado la utilización del rango definido en este trabajo para las aplicaciones de la zafra 2012/2013.

#### **6.7.4 Retroalimentación del comité de madurantes a zona de producción**

El Comité de Madurantes brinda seguimiento antes y durante la zafra al programa de madurantes y al programa de cosecha que deben estar integrados e interrelacionados, pero en los cambios y ajustes a los programas no eran retroalimentados de manera adecuadas hacia las zonas de producción, que es donde se ejecuta la labor; esto generaba ciertas dudas en el porqué de los cambios y cuales eran las razones.

Como una acción de mejorar, se estructuro el procedimiento para enviarlos cambios al programa de madurantes y cosecha, así como la validación de los mismos por las gerencias de la zonas, y los procedimientos para las consultas.

#### **6.7.5 Relación con las empresas prestadoras de servicios**

Durante el proceso de aplicación las empresas proveedoras de servicios de fumigación, asignan la nave y piloto de acuerdo a su conveniencia, y no en función del interés de la empresa. Esto genero un altar rotación de naves y pilotos.

Generando cambios al programa, cambios en las instrucciones, falta de conocimiento de los pilotos de los procedimientos de aplicación de la empresa, dificultad para brindarle seguimiento a la calibración y ajustes a las naves.

Este factor se esta corrigiendo con una nueva negociación y cambio de proveedores, en el caso que no se ajusten a las especificaciones solicitadas.

#### **6.7.6. Seguimiento a las aplicaciones**

El actual procedimiento no es sistemático y secuencial, se requiere de la revisión de un nuevo modelo que nos permita ordenar la información en una base de datos con los registros de los parámetros climáticos, reportes de calibración, evaluación de monitoreo de cobertura, reporte de vuelo del sistema de GPS; para poderle dar seguimiento las naves, pilotos y acciones correctivas durante el período de

aplicaciones, además utilizando herramientas estadísticas como gráficas de control se podrá llevar un mejor registro de cómo lo administramos actualmente. Además cuando se necesite revisar una aplicación específica se podrán consultar todos los parámetros de la misma en una misma fuente y para posteriores análisis al cruzar la información con la base actual de respuestas del madurante.

Como resultado se esta desarrollando una revisión a los estándares de aplicación y calibración, así como una nueva aplicación en el sistema informático que pueda registrar y apoyar esta gestión, que se probara preliminarmente para la zafra 2012/2013.

#### **6.7.7. Daño al cultivo**

En este punto viene a resultar muchos de los puntos mencionados anteriormente, puesto que por sobredosisación, por calidad de la aplicación y por condiciones climáticas se puede dañar el cultivo, pero un factor crítico en ese sentido es el estimado de producción, este proceso es crítico en el proceso de aplicación de madurantes por define la dosis que se debe aplicar a los bloques, por lo cual entre mas cercano este el valor al real, la dosis será la mas correcta; cuando se presenta variaciones o la asertividad en el estimado esta fuera de un rango considerable los frentes de cosecha se pueden atrasar o adelantar en su programación dependiendo de la naturaleza de la variación.

En el análisis se encontró un procedimiento que se utiliza en la Zona de Cañaverales de Sur, donde se utiliza un muestreo estratificado de producción en base a peso, dicha metodología se probó en la zafra 2011/2012 en todas la zonas de producción, con los resultados de la prueba se realizaron las mejoras y para la zafra 2012/2013 se convirtió en el procedimiento estándar y autorizado como herramienta en la estimación para la aplicación de madurantes.

#### **6.7.8. Relación zonas de producción- departamento de madurante**

Este punto se realizaron cambios descentralizando ciertas actividades que el departamento de madurantes realizaba y su función se convirtió en una posición capacitación, revisión, evaluación y seguimiento a las normas, debido a que en este departamento se concentra el conocimiento y la experiencia en la aplicación de madurante, mientras que la parte operacional de la actividad la pueden desarrollar



las zonas, bajo los lineamientos del departamento, que al final busca la integración e interacción de la zonas y departamento mediante la responsabilidad de los resultados.

## VII. CONCLUSIONES:

De acuerdo con los objetivos planteados y a los resultados obtenidos se concluye que:

7.1. Las respuestas comerciales a los productos aplicados para la maduración inducida en caña de azúcar, son:

- a) Las áreas aplicadas en la zona de Río Lindo corresponde a más de un 95 por ciento del área cultivada.
- b) La Sal Isopropil Amina de glifosato es la que se aplica en un 97 por ciento y presentó un incremento del 4 por ciento de incremento en el rendimiento en la zona de Río Lindo.
- c) La respuesta anual de madurante en la zona de Río Lindo se ve afectada por el comportamiento de la Amplitud Térmica y por la lluvia acumulada en el período de zafra.
- d) El rendimiento de las aplicaciones de madurantes en la zona de Río Lindo es decreciente del primero al tercer tercio de cosecha, siendo la mejor respuesta del primero al tercero en ese mismo orden.
- e) El período óptimo para la cosecha se encontró en 56.29 días después de la aplicación, con un rango de 52 -58 días después de la aplicación.
- f) La dosis glifosato que presenta los mejores rendimientos son 11.50 cc/tonelada de caña, el rango de aplicación óptimo se encuentra entre 10-12 cc/tonelada de caña.
- g) La variedad CP73-1547 presentó ser estadísticamente diferente a todas las variedades evaluadas y presenta los valores más altos de rendimiento.
- h) La variedad CP88-1165 es estadísticamente igual a la variedad CP72-2086, pero diferente a RB73-2577 y CG98-10.

7.2. Los resultados comerciales obtenidos anteriormente en la zona de Río Lindo, concuerda con los datos de la revisión bibliográfica y con los datos experimentales obtenidos.

7.3. De los factores críticos que están afectando la respuesta de la maduración inducida son:

- a) De los factores climáticos son la amplitud térmica y la lluvia acumulada en el período de zafra, modifican la respuesta del madurante.
- b) El estimado de producción, por su efecto en la dosificación y en la programación de cosecha, por inciden directamente en la respuesta del producto.
- c) La calidad de la aplicación, por el daño que se provoca al cultivo y en la maduración no uniforme de los tallos en los campos aplicados.

## **VIII. RECOMENDACIONES.**

7.1 La información almacenada en base de datos, es una herramienta muy útil para el análisis de la operación, pero para que esta información se valida y certera la calidad de la información almacena es relevante. Es por eso que se debe analizar, depurar y actualizar antes del análisis. Se debe establecer un control de calidad de la información con la que se alimentan la base de datos.

7.2. Realizar validaciones experimentales de carácter semi-comerciales de los parámetros establecidos en las conclusiones, para evaluar de manera más controlada las respuestas.

7.3. El sistema de muestreo estratificado de producción en base a peso, es una herramienta objetiva que se debe seguir desarrollando y registrando sus resultados para poder interactuar con los parámetros climáticos y manejo para desarrollar una herramienta de pronósticos de producción.

7.4. Con la generación de la base del seguimiento a las aplicaciones de madurante, se podrán hacer futuros análisis, interactuando con la base de resultados del madurante.

7.5. El análisis en si mismo, carece de valor, sin no se convierte en acciones ejecutadas, por lo tanto las personas involucradas en realizar los cambios deben estar comprometidas en la ejecución de los mismo, es por esos que el sistema debe contemplar el estímulo para que esto se realice y tener el seguimiento correspondiente, mediante la designación de los responsables de cada etapa.

## IX. BIBLIOGRAFÍA.

1. Cadenas Ordoñez, G. 1995. Efecto de la edad del cultivo y duración del período post aplicación sobre la eficiencia de glifosato como madurante en la variedad de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) CP72-2086 en Tiquisate, Escuintla. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 43 p.
2. Castillo Torres, R; Silva Cifuentes, E. 2004. Fisiología, floración y mejoramiento genético de la caña de azúcar en el Ecuador. Ecuador, CINCAE. 17 p. (Publicación Técnica no. 6).
3. Castro, OR. 2010. Efecto del clima en la acumulación de sacarosa, estudio preliminar zona cañera de Guatemala (correspondencia personal). Escuintla, Guatemala, Cengicaña, Departamento de Agrometeorología. (Power Point 15 diapositivas).
4. Castro, OR. 2012. Análisis de productividad del tercer tercio, seminario de productividad del tercer tercio ingenio Madre Tierra. Escuintla, Guatemala, Cengicaña, Departamento de Agrometeorología. (Power Point 40 diapositivas).
5. Castro, OR; Suarez, A. 2012. La meteorología en caña de azúcar. *In* Melgar, M; Meneses, A; Orozco, H; Pérez, O; Espinosa, R (eds.). El cultivo de la caña de azúcar en Guatemala. Guatemala, Cengicaña. p. 447-478.
6. CENGICAÑA (Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar, GT). 2006a. Mapas de precipitación histórica anual (en línea). Guatemala. Consultado 9 mar 2012. Disponible en <http://www.cengicana.org/es/mapas-zona-canera/Mapas/Clima/Precipitacion-Historica/>
7. \_\_\_\_\_. 2006b. Mapa de estudio semi-detallado de suelos (en línea). Guatemala. Consultado 9 mar 2012. Disponible en <http://www.cengicana.org/es/mapas-zona-canera/Mapas/Suelos/Estudio-de-Suelos/>
8. \_\_\_\_\_. 2006c. Mapa de temperatura no zafra (en línea). Guatemala. Consultado 9 mar 2012. Disponible en [http://www.cengicana.org/es/mapas-zona-canera/Mapas/Clima/Temperatura /](http://www.cengicana.org/es/mapas-zona-canera/Mapas/Clima/Temperatura/)
9. \_\_\_\_\_. 2006d. Mapa de zonas de vida (en línea). Guatemala. Consultado 9 mar 2012. Disponible en [http://www.cengicana.org/es/mapas-zona-canera/Mapas/Generales/Zonas-de-Vida /](http://www.cengicana.org/es/mapas-zona-canera/Mapas/Generales/Zonas-de-Vida/)
10. \_\_\_\_\_. 2012a. Boletín estadístico: series históricas 12-1 agosto 2011 (en línea). Guatemala. Consultado 21 feb 2012. Disponible en

[http://www.cengicana.org/es/publicaciones/Boletines-Estadisticos/Boletin-Estadistico-Series-Historicas\\_12-1-agosto-2011](http://www.cengicana.org/es/publicaciones/Boletines-Estadisticos/Boletin-Estadistico-Series-Historicas_12-1-agosto-2011)

11. \_\_\_\_\_. 2012b. Estratos altitudinales de la zona cañera (en línea). Guatemala. Consultado 9 mar 2012. Disponible en <http://www.cengicana.org/es/mapas-zona-canera/Mapas/Generales/Estratificacion-Altitudinal-de-la-Zona-Cañera/>
12. \_\_\_\_\_. 2012c. Gráficas comparativas y variables de la estación San Antonio EV (en línea). Guatemala. Consultado 9 mar 2012. Disponible en <http://www.cengicana.org/es/agrometeorologia/ingreso-sim>
13. \_\_\_\_\_. 2012d. Mapa de ubicación geográfica de la zona cañera (en línea). Guatemala. Consultado 9 mar 2012. Disponible en <http://www.cengicana.org/es/mapas-zona-canera/Mapas/Generales/Ubicacion-Geografica-de-la-zona-cañera /pdf>
14. Costa, C; Almeida, M *et al.* 2010. *Topicos em ecofisiologia da caña de azucar.* Botucate, Brasil, Fundacao de Estudos e Pesquisas Agricolas e Florestais – FEPAF-. 14 p.
15. Cruz S, JR De la. 1982. Clasificación de zonas de vida de Guatemala a nivel de reconocimiento. Guatemala, Instituto Nacional Forestal. p. 20-22.
16. Espinosa, G. 2012. Maduración de la caña de azúcar y floración de la caña de azúcar y su manejo. *In* Melgar, M; Meneses, A; Orozco, H; Pérez, O; Espinosa, R (eds.). *El cultivo de la caña de azúcar en Guatemala.* Guatemala, Cengicaña. p. 259-294.
17. Larrahondo, J. 1995. Calidad de la caña de azúcar. *In* Cassalett, C; Torres, J; Isaccs, C (eds.). *El cultivo de la caña en la zona azucarera de Colombia.* Cali, Colombia, CENICAÑA. p. 337-354.
18. Larrahondo, J; Villegas, F. 1995. Control y características de la maduración. *In* Cassalett, C; Torres, J; Isaccs, C (eds.). *El cultivo de la caña en la zona azucarera de Colombia.* Cali, Colombia, CENICAÑA. p. 297-313.
19. Lazcano-Ferrat, I. 1990. El potasio: esencial para un buen rendimiento de la caña de azúcar (en línea). US, Instituto de la Potasa y el Fosforo. Consultado 19 jul 2012. Disponible en [http://www.ipni.net/ppiweb/mexnca.nsf/87cb8a98bf72572b8525693e0053ea70/b8bac94d193a685c06256ba6005da2e2/\\$FILE/EI\\_Potasio%20Esencial%20para%20un%20buen%20rendimiento%20en%20la%20ca%C3%B1a%20de%20az%C3%BAcar.pdf](http://www.ipni.net/ppiweb/mexnca.nsf/87cb8a98bf72572b8525693e0053ea70/b8bac94d193a685c06256ba6005da2e2/$FILE/EI_Potasio%20Esencial%20para%20un%20buen%20rendimiento%20en%20la%20ca%C3%B1a%20de%20az%C3%BAcar.pdf)

20. Márquez, JM. 2012. Manejo integrado de plagas. *In* Melgar, M; Meneses, A; Orozco, H; Pérez, O; Espinosa, R (eds.). El cultivo de la caña de azúcar en Guatemala. Guatemala, Cengicaña. p. 203-232.
21. Monsanto, GT. s.f. Roundup herbicida de Monsanto: manual técnico. Guatemala. 16 p.
22. Orozco, H *et al.* 2012. Mejoramiento genético de la caña de azúcar. *In* Melgar, M; Meneses, A; Orozco, H; Pérez, O; Espinosa, R (eds.). El cultivo de la caña de azúcar en Guatemala. Guatemala, Cengicaña. p. 45-78.
23. 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.
24. Perla Méndez, S. 2009. Propuesta de manejo de secuencia de labores para el cultivo de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) en la costa sur, Guatemala. Informe Graduación Ing. Agr. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 60 p.
25. Portillo, FN. 1999. Evaluación de tres sulfonilureas solas y con glifosato, como inhibidoras de flor y su efecto en el rendimiento de la caña de azúcar (*Saccharum* spp.) en Escuintla. EPSA Investigación Inferencial. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 65 p.
26. Sáenz Soto, O. 2004. Experiencia en la optimización de la maduración inducida, en el cultivo de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) en Guatemala. Informe Graduación Ing. Agr. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 79 p.
27. Villatoro, B; Pérez, O. 2012. Caracterización de la zona cañera. *In* Melgar, M; Meneses, A; Orozco, H; Pérez, O; Espinosa, R (eds.). El cultivo de la caña de azúcar en Guatemala. Guatemala, Cengicaña. p. 33-44.
28. Villegas, F; Arcila, J. 1995. Uso de madurante. *In* Cassalet, C; Torres, J; Isacacs, C (eds.). El cultivo de la caña en la zona azucarera de Colombia. Cali, Colombia, CENICAÑA. p. 315-335.