

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



SISTEMATIZACIÓN DE LAS EXPERIENCIAS EN LA APLICACIÓN DEL ETHEPHON PARA EL
MANEJO DE LA FLORACIÓN EN CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum spp.*)

DOCUMENTO DE GRADUACIÓN

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

POR

LUIS ROBERTO DE LEÓN GRANADOS

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

Guatemala, noviembre de 2008

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

RECTOR

Lic. CARLOS ESTUARDO GÁLVEZ BARRIOS

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA

DECANO	MSc. FRANCISCO JAVIER VÁSQUEZ VÁSQUEZ
VOCAL PRIMERO	Ing. Agr. WALDEMAR NUFIO REYES
VOCAL SEGUNDO	Ing. Agr. WALTER ARNOLDO REYES SANABRIA
VOCAL TERCERO	MSc. DANILO ERNESTO DARDÓN ÁVILA
VOCAL CUARTO	Br. RIGOBERTO MORALES VENTURA
VOCAL QUINTO	Br. MIGUEL ARMANDO SALAZAR DONIS
SECRETARIO	MSc. EDWIN ENRIQUE CANO MORALES

Guatemala, noviembre de 2008

Guatemala, noviembre de 2008

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 DEL ETHEPHON PARA EL MANEJO DE LA FLORACIÓN EN CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum* spp.)

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

Esperando que la presente investigación llene los requisitos necesarios para su aprobación, agradezco la atención prestada a la presente.

Atentamente,

LUIS ROBERTO DE LEÓN GRANADOS

Guatemala, noviembre de 2008.

Ing. Agr. MSc. Amilcar Sánchez
Director del Instituto de Investigaciones Agronómicas
Universidad de San Carlos de Guatemala

Señor Director:

Me dirijo a usted para manifestarle que atendiendo a mi responsabilidad como Asesor, he procedido a asesorar y revisar el documento de graduación del estudiante LUIS ROBERTO DE LEÓN GRANADOS, Carné: 8614969

Titulado

SISTEMATIZACIÓN DE LAS EXPERIENCIAS EN LA APLICACIÓN DEL ETHEPHON PARA EL
MANEJO DE LA FLORACIÓN EN CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum* spp.)

Considero que dicho trabajo CUMPLE con los requisitos exigidos por la Facultad de Agronomía; por lo cual me permito comunicárselo para los efectos consiguientes.

Sin otro particular, me suscribo de usted respetuosamente,

Ing. Agr. M. Sc. Manuel de Jesús Martínez Ovalle
Colegiado No. 324

Guatemala, noviembre de 2008.

Ing. Agr. MSc. Amilcar Sánchez
Director del Instituto de Investigaciones Agronómicas
Universidad de San Carlos de Guatemala

Señor Director:

Me dirijo a usted para manifestarle que atendiendo a mi responsabilidad como Asesor, he procedido a asesorar y revisar el documento de graduación del estudiante LUIS ROBERTO DE LEÓN GRANADOS, Carné: 8614969

Titulado

SISTEMATIZACIÓN DE LAS EXPERIENCIAS EN LA APLICACIÓN DEL ETHEPHON PARA EL
MANEJO DE LA FLORACIÓN EN CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum* spp.)

Considero que dicho trabajo CUMPLE con los requisitos exigidos por la Facultad de Agronomía; por lo cual me permito comunicárselo para los efectos consiguientes.

Sin otro particular, me suscribo de usted respetuosamente,

Ing. Agr. MSc Juan Carlos Toledo
Colegiado No. 1045

TESIS QUE DEDICO

A:

Guatemala

Tierra de encanto primaveral

Universidad de San
Carlos de Guatemala

Por albergarme y brindarme el
conocimiento de mi carrera

Facultad de Agronomía

Por mí formación profesional

ACTO QUE DEDICO

A:

- DIOS Por su infinita misericordia y bondad derramadas sobre mí y permitirme alcanzar este logro y compartirlo con mí familia.
- LA VIRGEN MARÍA Por guiarme y protegerme siempre.
- MIS ABUELOS Catalina Gándara de Granados
Roberto Granados (QEPD)
Rogelio De León (QEPD)
Julia Guzman de De León (QEPD)
Como agradecimiento por todo su AMOR y un reconocimiento en su memoria.
- MIS PADRES Luis Alberto De León, Catalina Granados Gándara, como un regalo y reconocimiento a todos sus sacrificios, consejos, paciencia, ejemplo y amor abnegado entregado a mi durante toda la vida.
- MI ESPOSA Nancy Villanueva, por su amor sincero e incondicional, por su apoyo y fortaleza brindados en todo momento.
- MI HIJA María Isabella, por ser la felicidad, el orgullo y la razón de mí diario vivir.
- MIS HERMANAS María Paula y María Alejandra por todo su amor y comprensión.

AGRADECIMIENTOS

A:

Facultad de Agronomía Por brindarme los conocimientos y los medios para culminar mi carrera.

Ingenio La Unión Por confiar en mí y brindarme mi primer trabajo.

Ingenios Pantaleón e
Ingenio Magdalena Por compartir su experiencia para este trabajo.

Mis Asesores:

Ing. Agr. M. Sc. Manuel Martínez.
Ing. Agr. M. Sc. Juan Carlos Toledo.

Por su confianza puesta en mí.

Mis Amigos

Byron Paz, Edgar Solares, Juan Carlos Toledo, Antonio Muñoz, Víctor Azañón, Juan Carlos Sosa, Sebastien Benel, Luis Alburez, Julio Morales, Luis Marco Arana, Jorge Azzari, Carlos Chivichon, Carlos Olmos, Luis Orellana, Gustavo Sagastume, Por creer en que **“La Amistad es una responsabilidad, no una oportunidad”**.

Mis Primos

Por todo su cariño y apoyo.

Tí

Por ser fuente de motivación, ejemplo de amor, esfuerzo, dedicación, trabajo y éxito. Que por personas como tú existimos miles que necesitamos esa chispa de inspiración para alcanzar nuestras metas y sueños. Gracias

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	2
3. MARCO TEÓRICO	3
3.1 Marco conceptual	3
3.1.1 Origen de la especie	3
3.1.2 Clasificación taxonómica	3
3.1.3 Caracterización botánica	4
3.1.3.1 Sistema radical	4
3.1.3.2 Tallo	5
3.1.3.3 Nudo	6
3.1.3.4 Entrenudo	6
3.1.3.5 Hoja	6
3.1.3.6 Flor.....	7
3.1.4 Composición química de la caña de azúcar	8
3.1.5 Fotosíntesis	8
3. 1. 6 La floración en la caña de azúcar	9
3. 1. 7 Control de la floración	9
3.1.8 Procesos anatómicos y morfológicos en la maduración de la caña de azúcar	11
3.1.9 Factores naturales y agronómicos de la maduración.....	12
3.1.9.1 Factores naturales	12
3.1.9.2 Factores agronómicos	14
3.1.10 Aplicación de madurante bajo condiciones de escasez de humedad en el suelo.....	20
3.1.11 Aplicación de madurante bajo condiciones de excesiva humedad en el suelo.....	21
3.1.12 La maduración inducida.....	22
3.2 Marco referencial	25
3. 2.1 Localización y descripción de la zona cañera guatemalteca	25
3. 2. 2 Descripción de los materiales	25
3. 2.2.1 Variedad CP72-2086	26
3. 2.2.2 Ethephon	27
3. 2. 3 Antecedentes de investigaciones usando como inhibidor de la floración el ethephon.....	31
4. OBJETIVOS.....	33
4.1 Objetivo general.....	33
4.2 Específicos	33
5. METODOLOGÍA	34
5.1 Fase de gabinete	34
5.2 Revisión de programas de aplicación de madurantes de varios ingenios del país.....	35

5.3 Análisis, interpretación y presentación de resultados	35
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	36
6.1 Características de los lugares donde se establecieron los ensayos.....	36
6.1.1 Ingenio Pantaleón	36
6.1.2. Ingenio La Unión.....	36
6.1.3 Ingenio Magdalena	37
6.2 Recolección de información agro-climática.....	37
6.3 Descripción de los tratamientos.....	41
6.4 Resultados ingenio La Unión	41
6.5 Resultados ingenio Pantaleón y Magdalena.....	44
6.6 Ensayos con resultados consistentes:	49
7. CONCLUSIONES	50
8. RECOMENDACIONES.....	51
9. BIBLIOGRAFÍA	52

Índice de cuadros

Cuadro 1. Composición química de la caña de azúcar entera.....	8
Cuadro 2. Clasificación de la zona cañera por estratos.....	38
Cuadro 3. Agrupación de los suelos por orden cartografiados en la zona cañera del sur de Guatemala.....	39
Cuadro 4. Precipitación pluvial mensual de las fincas de la zona baja del Ingenio La Unión.	40
Cuadro 5. Brillo solar de estación Mirador, La Gomera, Escuintla.....	40
Cuadro 6. Descripción de los tratamientos utilizados en los ensayos	41
Cuadro 7. Reporte Final de las áreas aplicadas con ethrel 2000 -2001.	42
Cuadro 8. Evaluación de la producción de toneladas de caña de azúcar en la fincas aplicadas con ethrel versus el testigo. 2000	42
Cuadro 9. Análisis de datos por finca y número de cortes ethrel 99/2000	48

Cuadro 10. Resumen de resultados de los ensayos realizados en la zafra 94 –95.....	49
Cuadro 11. Resumen de resultados de la variedad CP-722086 durante la zafra 95 – 96	49

Índice de figuras

Figura 1. Brotes proveniente de una yema germinada de caña de azúcar mostrando las raíces del brote y del esqueje (4).	5
Figura 2. Partes estructurales de la hoja en caña de azúcar (1).....	7
Figura 3. Mapa de ubicación de las áreas de cultivo de caña de azúcar en Guatemala.	32
Figura 4. Efecto de ethephon en la variable rendimiento toneladas de caña por hectárea	43
Figura 5. Efecto del ethrel por finca 2000-2001.	44
Figura 6. Evaluación del efecto del ethrel en la inhibición de la floración, variedad CP72-2086, ingenios Pantaleón y Magdalena, 2004.....	47

SISTEMATIZACIÓN DE LAS EXPERIENCIAS EN LA APLICACIÓN DEL ETHEPHON PARA EL
MANEJO DE LA FLORACIÓN EN CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum* spp.)
SYSTEMATIZING OF THE EXPERIENCES IN THE APPLICATION OF THE ETHEPHON FOR
THE MANAGING OF THE FLOWERING IN SUGAR CANE (*Saccharum* spp.)

Resumen

En Guatemala alrededor del 70% del área sembrada con caña de azúcar posee variedades floreadoras, las cuales al llegar al inicio de la etapa fenológica reproductiva dejan de crecer y empiezan a desarrollar sus órganos reproductivos; lo cual trae como consecuencia el deterioro agronómico del cultivo que redundará en una disminución en los rendimientos (ton/ha), y por ende una reducción en los kilogramos de azúcar por hectárea. El objetivo general del presente trabajo ha sido recopilar y sistematizar la experiencia en el uso de Ethephon como inhibidor de la floración. Los datos demuestran que la aplicación de Ethephon en dosis de 720 grs de i.a/ha en los Ingenios La Unión, Pantaleón y Magdalena han controlado la floración y formación de corcho en los lotes aplicados versus los no aplicados, mostrando diferencias que van desde 1.45 hasta 9.81 ton/ha y como consecuencia un incremento promedio de 15.97 qq/ha. Con lo cual se ha demostrado que las aplicaciones de Ethephon como inhibidor de floración en caña de azúcar (*Saccharum* spp.), son la alternativa viable más rápida y económica para manejar la floración del cultivo en Guatemala. Debido a la cantidad de factores (externos e internos), que pueden influenciar la floración y la composición varietal de la agroindustria en este momento (70% variedades floreadoras), es necesario continuar validando el efecto del Ethephon en nuevas variedades así como organizar, centralizar y analizar los datos de las diferentes estaciones meteorológicas de la industria para poder recomendar con mayor certeza el momento óptimo para la aplicación.

1. INTRODUCCIÓN

El cultivo de caña de azúcar debe estar orientado en aumentar la producción a un menor costo y en la conservación de los recursos: suelo y medio ambiente. El reto a una mayor productividad no puede ser afrontado con pequeños y pocos cambios en el manejo del cultivo, se hace necesario tomar decisiones drásticas con relación a los nuevos propósitos del cultivo, incluyéndolo como un sistema de biomasa y no simplemente como un sistema azucarero. Existe una necesidad inmediata de diversificar el cultivo de esta gramínea ya que numerosas razones limitan el desarrollo de la economía azucarera, ya sea promoviendo la siembra de cultivos asociados con el consiguiente apoyo técnico, o bien, mediante el establecimiento de verdaderos polos de desarrollo natural que pudieran integrarse con la utilización de los propios subproductos, generados por el mismo proceso.

2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

El cultivo de la caña de azúcar (*Saccharum spp*) , es uno de los cultivos más importantes en la economía del país, ya que además de generar divisas, es una fuente de mano de obra para muchas familias guatemaltecas, se generan US\$ 316.43 millones de divisas por exportaciones y alrededor de 60,000 empleos directos (23).

En Guatemala alrededor del 70% del área sembrada con caña de azúcar posee variedades floreadoras, las cuales al llegar al inicio de la etapa fenológica reproductiva dejan de crecer y empiezan a desarrollar sus órganos reproductivos; lo cual trae como consecuencia el deterioro agronómico del cultivo que redundará en una disminución en los rendimientos (ton/ha), y por ende una reducción en los kilogramos de azúcar por hectárea.

Se aplican dos métodos para contrarrestar este fenómeno uno es varietal y el otro utilizando inhibidores de floración; desde hace ya algunos años la agroindustria azucarera ha iniciado la aplicación del Ethephon para intentar disminuir las pérdidas que causa la floración.

Por tal razón es necesario el presente trabajo, que recopila la información que se ha generado en los últimos años en cuanto a la inhibición floral se refiere y a los beneficios que el control de esta con lleva.

3. MARCO TEÓRICO

3.1 Marco conceptual

3.1.1 Origen de la especie

Se considera que este pudo haber sido el archipiélago de Melanesia en Nueva Guinea, 8000 a 15000 años antes de Cristo, de donde se difundió hacia las islas vecinas, posteriormente hacia China e India. El origen y la dispersión de la caña de azúcar son polémicos y controversiales, es así, como se establecen diferentes centros: Barber, 1931 India. Chatuverdi, 1951 China. Brandes, 1956 Nueva Guinea; El más aceptado es Nueva Guinea por la presencia de una de las mayores colecciones del género *Saccharum* (24).

En 1493 Cristóbal Colón en su segundo viaje a América la trajo a las islas del Caribe, particularmente a la isla La Española, la cual corresponde hoy a República Dominicana y Haití, de donde se difundió posteriormente a Cuba, Puerto Rico, México, Colombia y Perú. Al Brasil fue introducida por los portugueses alrededor del año 1500 D. C., a Venezuela entró por la ciudad de Santa Ana de Coro en 1540, traída por Don Juan de Ampíes fundador de Coro, quien la cultivaba con éxito en Santo Domingo, República Dominicana. La “caña criolla” es la primera y más antigua de las variedades introducida en las Américas (8).

3.1.2 Clasificación taxonómica

El sistema filogenético de clasificación desarrollado por Arthur Cronquist (10), da el nombre de *Saccharum officinarum* L de acuerdo con la clasificación taxonómica actual, la caña se clasifica de la forma siguiente:

Reino	:	Plantae
División	:	Embriofita
Sub-División	:	Magnoliophyta
Clase	:	Liliopsida
Orden	:	Cyperales
Familia	:	Poaceae
Tribu	:	Andropogonoideae
Sub – tribu	:	Saccharinae
Género	:	<i>Saccharum</i>
Especie	:	<i>S. officinarum</i> L. <i>S. sinense</i> Roxb. <i>S. barberi</i> . Jeswiet <i>S. edule</i> Hassak <i>S. robustum</i> Brandes <i>S. spontaneum</i> L (11).

3.1.3 Caracterización botánica

3.1.3.1 Sistema radical

Lo constituye el anclaje de la planta y el medio para la absorción de nutrimentos y de agua del suelo. Está formado por dos tipos de raíces. Tal como se observa en la Figura 1.

A) Raíces de la estaca original o primordiales

Se originan a partir de la banda de primordios radicales, localizada en el anillo de crecimiento del esqueje o estaca original que se siembra, son delgadas, muy ramificadas y su período de vida llega hasta el momento que aparecen las raíces en los nuevos brotes, lo cual ocurre entre los 2 y 3 meses de edad.

B) Raíces permanentes

Brotan de los anillos de crecimiento radical de los nuevos brotes, son numerosas, gruesas, de rápido crecimiento y su proliferación avanza con el desarrollo de la planta.

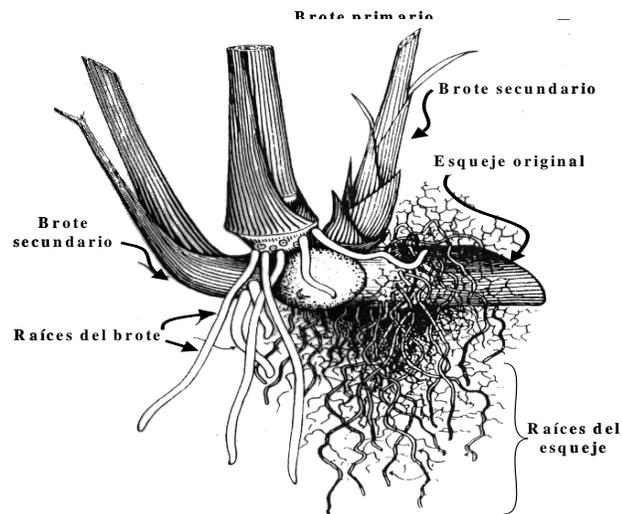


Figura 1. Brotes proveniente de una yema germinada de caña de azúcar mostrando las raíces del brote y del esqueje (4).

3.1.3.2 Tallo

Es el órgano más importante de la planta de la caña, ya que en él se almacenan los azúcares. La caña de azúcar forma cepas constituidas por la aglomeración de los tallos, que se originan de las yemas del material vegetativo de siembra y de las yemas de los nuevos brotes subterráneos. El número, el diámetro, el color y el hábito de crecimiento del tallo dependen principalmente de las variedades. El tamaño o longitud de los tallos depende las condiciones agroecológicas de la zona donde crece y del manejo que se le brinde a la variedad. El tallo se denomina primario, secundario, terciario, etc., si se origina de las yemas del material vegetativo original, del tallo primario, o de los tallos secundarios, respectivamente. Los tallos de la caña de azúcar están formados por nudos en los que se desarrollan las yemas y las hojas, estos nudos se encuentran separados por entrenudos (4).

3.1.3.3 Nudo

Es la porción dura y más fibrosa del tallo de la caña de azúcar que separa dos entrenudos vecinos. Está formado por el anillo de crecimiento, una banda de raíces o primordios radicales, cicatriz foliar, nudo propiamente dicho, yema y anillo ceroso.

En la parte superior de la yema y sobre el entrenudo se proyecta una hendidura llamada canal de la yema. Las partes más importantes de la yema, son las alas, el poro germinativo y el apéndice (4).

3.1.3.4 Entrenudo

Es la proporción del tallo localizada entre dos nudos. El diámetro, el color, la forma y la longitud de los entrenudos cambia con las variedades. Las formas más comunes de entrenudos son: cilíndrico, abarilado, en forma de hueso, conoidal, obconoidal y cóncavo-convexo (4).

3.1.3.5 Hoja

En caña de azúcar se originan en los nudos y se distribuyen en posiciones alternas a lo largo del tallo a medida que este crece. Cada hoja esta formada por la lamina foliar y por la vaina o yagua. La unión entre estas dos partes se denomina lígula y en cada extremo de esta existe una aurícula con pubescencia variable. Tal como se observa en la Figura 2.

La parte más importante para el proceso de fotosíntesis es la hoja y su disposición en la planta difiere con las variedades, siendo la más común la pendulosa y la erecta. La disposición de la lámina no determina los rendimientos en sacarosa ni la producción de caña; por lo tanto, es posible encontrar variedades con altos o bajos rendimientos que tienen distintas formas de disposición de las hojas en cualquier densidad de siembra.

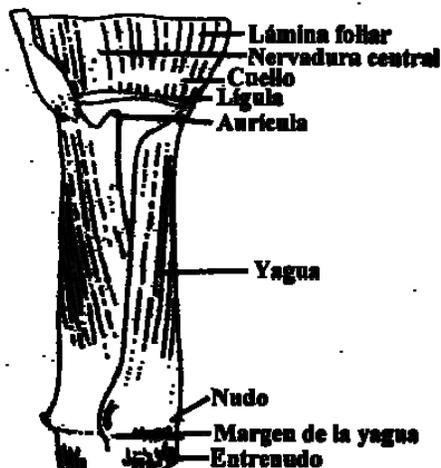


Figura 2. Partes estructurales de la hoja en caña de azúcar (1).

La vaina tiene forma tubular, envuelve al tallo y es ancha en la base. Puede ser glabra o cubierta de pelos urticantes en cantidad y longitud variable según la variedad (4).

3.1.3.6 Flor

La inflorescencia de la caña de azúcar es una panícula sedosa en forma de espiga. Está constituida por un eje principal con articulaciones donde están insertas las espiguillas, una frente a la otra. Cada espiguilla contiene una flor hermafrodita con tres anteras y un ovario con dos estigmas. Cada flor está rodeada por pubescencias largas que le dan a la inflorescencia un aspecto sedoso. En cada ovario hay un óvulo el cual una vez fertilizado, da origen al fruto o cariósido. El fruto es de forma ovalada de 0.5 mm de ancho y 1.5 mm de largo, aproximadamente (4).

3.1.4 Composición química de la caña de azúcar

La composición química de la caña de azúcar puede observarse en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Composición química de la caña de azúcar entera

Nutriente	% MS
Materia seca	29
Proteína cruda (N X 6.25)	2
Hemicelulosa	20
Celulosa	27
Lignina	7
Azúcares solubles	40
Cenizas	5

Fuente: (1,17)

3.1.5 Fotosíntesis

Es un proceso que determina la productividad del 90% o más de la biomasa seca y, el 100% en caso de la caña de azúcar, los productos útiles: la sacarosa y el bagazo. La caña de azúcar pertenece al grupo de las plantas C-4, en las cuales los primeros productos de la fotosíntesis tienen cadenas de cuatro átomos de carbono. Estas plantas se caracterizan por la alta tasa de fotosíntesis en las hojas individuales que se manifiesta en una alta producción de biomasa por hectárea y por año. En las zonas sub tropicales, cuando la radiación solar es alta, generalmente en horas del mediodía, los rayos del sol inciden en forma vertical, lo cual favorece a una menor intensidad de la iluminación en plantas con hojas erectas, en comparación con plantas de hojas inclinadas. Lo anterior sugiere que esto puede contribuir a la obtención de mayores producciones de biomasa; sin embargo, en la caña este efecto es mínimo debido a que, como se mencionó antes, la fotosíntesis no se satura cuando la iluminación es alta (4).

3. 1. 6 La floración en la caña de azúcar

La caña de azúcar presenta dos fases de desarrollo. La primera es la fase vegetativa originada por la división celular continua en los puntos de crecimiento y la segunda fase es reproductiva o floración; la floración marca el final del crecimiento del pedúnculo o tallo sobre el que nace la flor, resulta de una modificación del meristemo terminal (1,14).

3. 1. 7 Control de la floración

El factor climático que controla el mecanismo de floración en caña de azúcar es el fotoperíodo, la temperatura, la madurez y la humedad del suelo, se indica que el fotoperíodo es el factor más importante en la floración de la caña de azúcar (20).

La hoja, es el sitio de percepción de las señales lumínicas que inducen a la floración, lo cual implica que algo debe transportarse de la hoja al ápice en desarrollo en el que se formara la flor. La respuesta a la floración requiere cuatro pasos: a) la percepción del estímulo; b) la transformación del órgano receptor a un nuevo esquema metabólico; c) el transporte del estímulo resultante, y d) una respuesta del ápice en desarrollo que resulta en floración, el efecto del fotoperíodo en la floración se realiza a través de la acción de un pigmento tetrapirrólico llamado fotocromo. Es necesario el suministro de 13 horas luz, complementando el número de horas luz con luz artificial, seguidamente se disminuye dos minutos cada dos días hasta 12 horas 30 minutos para favorecer la floración.

Al realizar el estímulo el punto de crecimiento del tallo es inducido a cambiar del estado vegetativo al estado reproductivo, no se forman más hojas ni entrenudos y se interrumpe el crecimiento adicional, si se inicia la floración, los entrenudos que se encuentran debajo forman tejidos medulosos que contienen poco o ningún jugo y por consiguiente poco o ningún azúcar, dependiendo del tiempo que transcurra entre el período de inducción y la cosecha, este problema progresa hacia abajo del tallo, y ha habido 20% a 30% de pérdida de azúcar. La floración también

induce el crecimiento de retoños sobre los entrenudos y esto también contribuye a la pérdida en la calidad de la caña. La medulosidad que resulta debido al florecimiento crea problemas en el molino. Además de producir menos azúcar, los tejidos medulosos de la caña florecida pueden retrasar el proceso de decantación. Esto causa costosos retrasos durante los puntos máximos en la molienda (10).

Al reducirse las horas luz del día, por debajo de 12.5 horas, las variedades floríferas de caña de azúcar sufren la inducción de la floración. El florecimiento tiene un efecto perjudicial en la producción, lo cual se agrava progresivamente con el tiempo después de inducida la flor, los tallos de caña que tienen tres o cuatro entrenudos completamente desarrollados (caña de más de siete meses de edad), han alcanzado madurez suficiente y pueden ser inducidos a florecer, y si esto ocurre causará una pérdida en la producción de azúcar (4).

Durante la floración también se inicia el desarrollo de los órganos reproductivos, bajando los contenidos de sacarosa por su alto requerimiento de energía. Energía acumulada durante la fase vegetativa (5).

- Efectos provocados por la floración.
- Reducción evidente de la absorción radical y reducción en el abastecimiento de carbohidratos.
- Reducción en la velocidad de la actividad fotosintética.
- Muerte de las hojas inferiores y distribución retardada de nutrientes.
- El desarrollo se detiene.
- Enriquecimiento en azúcares en la parte superior del tallo.
- Emisión de brotes laterales (lajas).
- Formación descendente de la médula del tallo.

- Deshidratación de los tejidos.
- Baja recuperación de azúcar en el ingenio.

3.1.8 Procesos anatómicos y morfológicos en la maduración de la caña de azúcar

Los azúcares formados en la fotosíntesis como son, en su orden, glucosa y fructosa, sufren un proceso de síntesis en el cloroplasto, para convertirse en sacarosa después de una serie de reacciones químicas catalizadas por enzimas presentes en su mayoría en el estroma de este organelo celular. La sacarosa se transloca, entonces de las hojas hacia el tallo y las raíces a través del tejido de conducción denominado floema. Ya en el tallo, sigue un orden de acumulación en las células parenquimatosas o de distribución hacia las zonas de crecimiento en donde es desdoblada, fundamentalmente bajo la acción de la invertasa ácida, en los reductores, glucosa y fructosa que son los azúcares que pueden ingresar al proceso de respiración celular en donde se degradan para producir la energía necesaria para el crecimiento y desarrollo de las células jóvenes (7, 22, 23).

Una vez ingresada al tejido parenquimatoso del tallo, la sacarosa, bajo la acción de la invertasa neutra, se desdobla en glucosa y fructosa, pero inmediatamente, por la acción de un proceso de fosforilación, da origen de nuevo a la sacarosa que se almacena en las células del mencionado tejido.

El almacenamiento de sacarosa en el tallo sigue un patrón basipéto, es decir el azúcar se mueve hacia abajo y se va acumulando en los entrenudos inferiores, disminuyendo su concentración a medida que se asciende hacia el tercio superior del mismo.

La concentración de sacarosa difiere de un tipo de tejido a otro, según sea éste, tejido joven o tejido maduro, estando influenciada por la presencia de diferentes invertasas (enzimas), y por los requerimientos de energía para el crecimiento. En los tejidos jóvenes, en donde la expansión

rápida de las células es común, las exigencias de grandes montos de energía requieren que la sacarosa sea hidrolizada rápidamente por la acción de la invertasa ácida produciendo glucosa y fructosa que, a través del proceso de respiración celular proporcionan la energía necesaria para el proceso de crecimiento. Por otro lado, en los tejidos maduros, en donde el crecimiento y desarrollo celular es mínimo, se reduce drásticamente la concentración de la invertasa ácida, predominando más bien la invertasa neutra, que aparentemente se localiza en el citoplasma, y que promueve la acumulación de la sacarosa en la vacuola (7, 22, 23).

3.1.9 Factores naturales y agronómicos de la maduración

La maduración natural en las áreas cañeras de Centro América y el Caribe sigue un comportamiento que ha hecho adecuar el período de cosecha, denominado zafra, buscando cortar la caña en los momentos de máxima concentración de sacarosa. De esta manera, en la primera etapa de la zafra, noviembre a enero, los niveles de sacarosa son bajos, debido principalmente a la alta humedad residual en el suelo. Luego, en la segunda etapa, febrero a marzo, se obtienen los niveles máximos de sacarosa, cuando la humedad del suelo permite la maduración óptima de la caña. Finalmente, en la tercera etapa, abril a junio, se presenta un descenso rápido en la concentración del azúcar debido a la reanudación de las lluvias en estos meses del año (7, 22, 23).

3.1.9.1 Factores naturales

Entre los principales factores del clima que condicionan la maduración de la caña de azúcar se encuentran: la precipitación pluvial, la temperatura y la luminosidad

La disponibilidad de agua para la caña de azúcar debe ser adecuada en la etapa de desarrollo, de tal manera que permita la absorción, transporte y asimilación de nutrientes, necesarios para el normal desarrollo y crecimiento vegetativo de la planta, pero durante el inicio y

el desarrollo de la maduración en sí, dicha disponibilidad debe ser ampliamente reducida. Cuando la precipitación disminuye y por lo tanto la disponibilidad de agua en el suelo se reduce drásticamente, la planta decrece su ritmo de desarrollo celular, y consecuentemente su crecimiento, lo que conduce a una acumulación de sacarosa principalmente en el tercio superior, fenómeno que es ampliamente conocido como maduración. En ambientes dotados naturalmente, tal el caso de Hawai, donde los niveles de humedad del suelo pueden manejarse mediante prácticas agronómicas, el cultivo puede crecerse y “madurarse” manejando la disponibilidad de agua en el suelo. Si se humedece adecuadamente la capa arable del suelo, mediante riego por ejemplo, el cultivo crece vegetativamente acumulando poca sacarosa en los tallos, mientras que si se reduce el contenido de humedad, por debajo del nivel de capacidad de campo por ejemplo, se produce la maduración de los tallos ya que aumenta considerablemente su concentración de sacarosa (1, 7, 23).

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

El mayor efecto de la temperatura se produce cuando se conjuga con períodos de sequía y una oscilación térmica entre 11-12 grados centígrados, condición que favorece la acumulación de sacarosa en el tallo, por lo tanto incrementando el rendimiento de azúcar (1, 7, 23).

La luz como principal fuente de energía para los cultivos, en este caso caña de azúcar, juega un papel importante en la producción y almacenamiento de sacarosa en las hojas y en los tallos, respectivamente. En la producción, porque siendo la caña de azúcar una planta

fotosintéticamente C4, la hace, por un lado, muy eficiente en la absorción de energía lumínica en los cloroplastos, pero por el otro, también muy exigente en los niveles de energía radiante que deben estar alcanzándose en los tejidos foliares, para poder ser eficiente en la formación de biomasa que agrónomicamente se traduce en tonelaje de caña y finalmente azúcar (1, 7, 23).

3.1.9.2 Factores agronómicos

En la mayoría de países tropicales la caña de azúcar es plantada bajo la programación de ser cosechada durante la estación seca. Durante este período, el sistema radicular domina el crecimiento de la planta por lo que los niveles de azúcar en la caña se incrementarán, a medida que el contenido de humedad decrece en la capa arable del suelo. Contrariamente, durante la estación lluviosa, hay un rápido crecimiento del ápice del tallo. Durante este período de cuatro a cinco meses, el crecimiento apical del tallo domina la planta y no el crecimiento radicular, por lo que los niveles de azúcar en la caña son bajos (1,7).

Un campo determinado puede mostrar muy poca respuesta a la aplicación de madurante, si ya se encuentra en un estado muy avanzado de maduración promovido por la edad, la disminución de humedad en el suelo, el descenso de la temperatura, carencia de nitrógeno, etc. Las plantaciones no responderán adecuadamente si han sido sobre-fertilizadas con nitrógeno (especialmente tarde en el ciclo), si la humedad del suelo permanece alta, si la temperatura permanece cálida, si el cultivo es plantilla o si existe una combinación de estos factores. Es por ello, que los cañicultores deben seleccionar campos en los cuales se pueda maximizar el valor económico de la aplicación de madurante, lo que incluye la selección de lotes con suficiente “tonelaje” disponible para construir y almacenar azúcar (1,7).

A veces puede suceder que ciertos cultivares no respondan a los madurantes, pero otros si lo hagan rápidamente, ocasionando que el mejoramiento en la calidad del jugo pueda ser contrarrestado por una reducción en el tonelaje al momento de la cosecha. Aquí es donde se

hace necesaria la investigación de campo, ya que solamente la experiencia y las pruebas nos proporcionarán la información sobre la interacción madurante vs. variedad, especialmente en lo relacionado a características del producto usado como madurante tales como modo de acción, dosis aplicadas, época de aplicación, período óptimo post-aplicación y efectos en la soca subsiguiente (1, 7, 23).

Ciertas variedades simplemente no responderán al madurante, o lo harán solamente después de que cierto nivel de madurez ha sido alcanzado. En resumen, los madurantes no actuarán a menos que la variedad se encuentre fisiológicamente lista para iniciar su rápido proceso de acumulación de azúcar (7,23).

Los efectos de los madurantes son diferentes en las distintas variedades de caña. Al aplicar dosis iguales de un madurante del tipo reguladores de crecimiento a un grupo de variedades de la misma edad que han crecido en condiciones de clima, suelo y manejo similares es posible que algunas variedades presenten quemazón severa del follaje, lo cual afecta considerablemente su crecimiento. En estos casos se deduce que las variedades afectadas son muy susceptibles al madurante y que las dosis aplicadas son altas. Por su parte, las variedades que no presentan efecto alguno por la aplicación de madurante, ni en la coloración del follaje ni en el contenido de sacarosa, se identifican como variedades resistentes al madurante y se deduce que la dosis aplicada no fue suficiente (7,23).

En las variedades que presentan susceptibilidad o resistencia moderada al madurante, cuando la dosis aplicada es adecuada o cercana a la óptima se observa un amarillamiento ligero del follaje y una desaceleración en el crecimiento de los tallos que es suficiente para incrementar el nivel de sacarosa sin afectar la producción de caña (7,23).

Los trabajos de investigación realizados por CENGICAÑA (Centro Guatemalteco de la Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar), y la continua observación del

comportamiento de variedades de caña en aplicaciones comerciales en los ingenios han permitido clasificar algunas de ellas de acuerdo con la susceptibilidad o resistencia al madurante. Así, por ejemplo, la variedad Mex 68P23, CP- 721210 son muy susceptible, lo que indica que con dosis bajas y bien manejadas del producto, es posible alcanzar incrementos en su contenido de sacarosa al momento de la cosecha. Las variedades CP-722086, CP-731547 y B-37172, han sido identificadas como muy resistentes y requieren dosis altas de madurante. Las variedades CP-721312 y líneas de PR presentan una susceptibilidad moderada mientras que las variedades Mex 69-290, Línea PGM y Línea SP son moderadamente resistentes (7).

La aplicación de un madurante del grupo reguladores de crecimiento ocasiona una condición de estrés en la planta y como consecuencia se disminuye la tasa de crecimiento de los tallos. Si lo anterior coincide con un estrés debido a un déficit severo de humedad entonces la producción de caña puede ser afectada en forma negativa. De acuerdo con lo anterior, cuando se prevé la presencia de un período seco entre la aplicación del madurante y la cosecha de la caña, la dosis establecida en función del estado de desarrollo (1 – 1.5 lts / ha), del cultivo se debe disminuir entre 13% y 23% en relación con la dosis normal si ese período coincidiera con una época de lluvias (1, 3, 23).

La mayoría de campos cultivados con caña de azúcar tienen niveles adecuados de fertilizante para maximizar la producción de fotosintatos, pero ha sido olvidado que, probablemente, lo más importante en la producción de azúcar por unidad de área, es obtener el máximo movimiento de azúcar fuera de cada hoja, y no tanto la producción total de fotosintatos. El movimiento de azúcar fuera de cada hoja puede ser un tanto variable, siendo afectado por el monto de nitrógeno en la planta. Este movimiento de azúcar fuera de las hojas es el factor más grande, y prácticamente único, que determina el total de azúcar por unidad de área. Por ello, muchos autores consideran que la fertilización, principalmente nitrogenada, debe reducirse

severamente al final del período vegetativo si se pretende una buena conversión de azúcares reductores en sacarosa (1, 3, 22, 23).

Las características del suelo influyen directamente en el desarrollo del cultivo y en la condición de retención de humedad, por tanto, afectan indirectamente la dosis de madurante que se debe aplicar. Las plantas que crecen en suelos con baja capacidad de retención de agua son sometidas frecuentemente a estrés hídrico, lo cual afecta su desarrollo. Si adicionalmente ocurre una época seca entre la aplicación del madurante y la cosecha de la caña, la dosis aplicada se debe reducir como se mencionó anteriormente. En términos generales, los cultivos que crecen en suelos de baja fertilidad con limitaciones en sus condiciones físicas o con baja capacidad de retención de humedad deben recibir una dosis menor de madurante, en comparación con cultivos en suelos sin este tipo de problemas (23).

Cada variedad debe ser sembrada en un período adecuado de tiempo para poder ser cosechada en el momento que de acuerdo a su patrón de maduración (máxima concentración de sacarosa), se encuentre en su estado óptimo (23).

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

actualidad aproximadamente el 70% del área sembrada con caña lo constituyen variedades floreadoras(23).

Por otro lado, se busca que para mediados y para finales de zafra las variedades concentren niveles aceptables de sacarosa, pero que no sean floreadoras, ya que de otro modo la floración, que debe haberse iniciado en octubre normalmente, produce deterioro que se ve incrementado con cada día que permanece la caña floreada en el campo. Ello significa que, naturalmente, en los meses de febrero a mayo no deberían cosecharse variedades floreadoras, a menos que se les induzca artificialmente un mecanismo que detenga el deterioro e incremente, o mantenga al menos, los niveles de sacarosa alcanzados (23).

En regiones donde se manejan los riegos después del período de establecimiento, llamados riegos precosecha, deben controlarse los períodos de irrigación antes de la cosecha. Una eliminación o reducción drástica de la lámina de agua aprovechable para la planta, la predispone a detener su tasa de crecimiento, y con ella utilizar menos sacarosa, consiguientemente, elevando la concentración de ésta en los tallos, dando paso así al proceso de maduración (1, 3, 22, 23).

Entre los procesos vegetales más sensibles al estrés hídrico se encuentran el crecimiento celular, la síntesis o formación de la pared celular y la síntesis de proteínas. Por lo común las plantas se recuperan si reciben agua cuando no han alcanzado el llamado Punto de Marchites Permanente (PMP), condición que en la mayoría de suelos agrícolas está referida a la humedad contenida en los poros del suelo a una tensión aproximada de 15 atmósferas. Esto significa que a pesar de la severidad del estrés hídrico, la respuesta a éste es elástica, o por lo menos un tanto elástica, ya que el crecimiento, y por otro lado la fotosíntesis de las hojas jóvenes no alcanza las tasas originales por varios días. Ello fundamentalmente se debe a que el crecimiento es especialmente sensible al estrés hídrico, a tal grado que la productividad puede disminuir notablemente con una sequía moderada (3, 23).

Como resultante del, estrés hídrico, las células permanecen más pequeñas y las hojas se desarrollan menos, lo que da por resultado una reducción del área requerida para la fotosíntesis. Por otro lado, las plantas pueden ser especialmente sensibles aún a sequías moderadas durante ciertos períodos, tal es el caso de la fase de macollamiento y la formación de los primordios florales en caña de azúcar. Al fin de cuentas, en el sentido de la producción final, de hecho las respuestas a las condiciones de estrés son plásticas, aún cuando el estrés hídrico sea moderado(3, 23).

Antes de discutir la respuesta que puede esperarse de la aplicación de madurante bajo condiciones de estrés hídrico es necesario plantear el mecanismo de respuesta de las plantas a estas condiciones y también el mecanismo de respuesta a condiciones de extremada humedad en el suelo (15, 17, 18).

Una inundación puede producir una condición de estrés bastante opuesta a la que generan los potenciales de agua en extremo negativos resultantes de una sequía o de un ambiente desértico, pero, en este caso, el daño resulta de la exclusión de oxígeno más que por un elevado potencial hídrico(15, 17, 18).

La caña de azúcar, y en general muchas gramíneas, pueden adaptarse a sobrevivir en suelos inundados ya que tienen la capacidad de producir raíces adventicias en cualquiera de sus entrenudos, principalmente los inferiores, lo que les permite continuar sus funciones vitales básicas de absorción y transporte aún en ambientes sobresaturados de agua. Esto lo realizan ya que en los entrenudos, aún los más viejos, existen células meristemáticas que de acuerdo al estímulo que reciban pueden generar células y tejidos para formar casi cualquier órgano vegetal. La falta de oxígeno, en el sistema rizomatoso y radicular, que se encuentra sumergido en una condición de suelo inundado ocasiona la muerte de la mayoría de raíces y el aletargamiento de los rizomas, por lo que constituye un estímulo para los meristemas intercalares ubicados en los

entrenudos cercanos que se encuentran sobre la superficie. Este estímulo conduce a la producción de nuevas raíces adventicias que quedan sobre la superficie, pudiendo ejercer la función de absorción de agua y nutrientes que era atributo de la macolla y raíces en una condición normal (15, 17, 18).

Asimismo, es necesario puntualizar que los rizomas y algunas raíces adventicias principales, permanecen viables, aunque latentes, aún en un suelo inundado, debido a que sus células tienen la habilidad de entrar en un ritmo metabólico mínimo que puede realizarse con muy poco oxígeno y el cual es obtenido del que se encuentra disuelto como gas en el agua del suelo. Este mecanismo de absorción de oxígeno es el que permite llevar a cabo el cultivo de arroz en el sistema de inundación. Por otro lado, en el caso de la caña de azúcar, la dominancia apical de los tallos o culmos que crecen fototrópicamente constituye un sumidero para las hormonas reguladoras de crecimiento, conduciendo a los rizomas y yemas subterráneas a entrar en latencia y permanecer así, mientras dure la dominancia apical (15, 17, 18).

3.1.10 Aplicación de madurante bajo condiciones de escasez de humedad en el suelo

La caña de azúcar es muy resistente aún a la condición más severa de falta de agua en el suelo, pudiendo soportar potenciales hídricos negativos mayores a las 15 atmósferas de tensión sin producir efectos fisiológicos detrimentales para la planta. Las sequías más leves pueden conducir a una disminución en el crecimiento y alargamiento de las células, lo que se traduce en una reducción del crecimiento en general de la planta, con lo que la producción de biomasa se ve asimismo mermada. Los períodos de falta de agua durante la fase vegetativa del cultivo, afectarán fundamentalmente la producción de biomasa y con ello el tonelaje del mismo. Sin embargo, esta carencia de agua en la mencionada fase de desarrollo, no tendrá ningún efecto en la respuesta de la planta a la aplicación de madurante en la fase de maduración previo a la cosecha. Más bien, lo importante es la condición de estrés en las últimas dos semanas antes de

la aplicación, por lo que la decisión de aplicar o no madurante debe ser tomada a nivel de lotes particulares y no de áreas en general (2).

Por ello, cuando las condiciones ambientales durante la fase vegetativa del cultivo, le han inducido una condición de estrés, pero que al momento de la aplicación del madurante ésta ha desaparecido o es moderada, entonces no hay razón para dejar de percibir los beneficios a que conduce la práctica de la maduración inducida (2).

3.1.11 Aplicación de madurante bajo condiciones de excesiva humedad en el suelo

La planta de caña de azúcar creciendo en una condición de suelo inundado, o con contenidos de humedad a tensiones menores de $1/3$ de atmósfera, es inducida a entrar en letargo o dormancia de su sistema rizomatoso (macolla), y radicular, produciéndose incluso la muerte de gran cantidad de raíces y raicillas al establecerse la condición de anegamiento. Como mecanismo de defensa, más bien de adaptación de la planta, se incita la formación de un sistema radicular adventicio a partir de los entrenudos inferiores más cercanos a la superficie del agua o suelo inundado, produciéndose una disminución generalizada de los procesos metabólicos del vegetal, pero con sus células totalmente activas y aptas para realizar todas sus funciones vitales (1,7).

Bajo esta condición, la aplicación de madurante como una práctica opcional de inducción de acumulación de sacarosa, debe tornarse como obligada, ya que de otra manera la dominancia apical conducirá a mantener vegetativamente a la planta, es decir, difícilmente entrará naturalmente en el proceso de maduración, caracterizado por la acumulación de sacarosa, principalmente en el tercio superior de la planta. Ahora bien, para obtener una respuesta efectiva del madurante aplicado en esta condición estresante o de aletargamiento de la planta, es necesario corregir la dosis, en este caso haciendo un ligero incremento en la misma en un rango de 10-25 % de la normal, dependiendo del grado de aletargamiento de la planta provocado por el

nivel de saturación del suelo. Esto es prácticamente obligado pues, como se señalara anteriormente, el ritmo metabólico de la planta sometida a esta condición es bajo, por lo que la absorción y transporte del madurante desde las hojas hasta sus sitios de acción es muy problemática y se realiza lentamente, necesiándose por ello mayor cantidad de producto que en condiciones normales. En otras palabras, una dosis normal de madurante, aplicado en condiciones de suelos inundados, producirá un efecto menor o a veces nulo debido a que muy poco o ninguna cantidad de éste tiene la posibilidad de ingresar y desplazarse hacia los sitios de acción en el vegetal (2, 15, 17).

Finalmente, en una condición estresante de escasez de humedad en el suelo, es necesario tener presente que aún la más leve sobredosis de madurante puede conducir a causar fitotoxicidad al sistema rizomatoso (macolla), en el momento del rebrote, debido a que cualquier cantidad de producto que ingrese al sistema de transporte (floema), de la planta está en la capacidad de movilizarse hacia los sumideros activos en ese momento, siendo éstos no solamente el ápice del tallo sino también la macolla misma que ha formado raíces profundas en busca de humedad remanente en las capas inferiores del suelo. Por otro lado, en la condición estresante de excesiva humedad en el suelo, no hay riesgos de causar toxidad al sistema rizomatoso, y con ello al rebrote, debido a que, por un lado es muy poco el producto que se moviliza por el floema de la planta, y por el otro, el sumidero representado por el ápice del tallo (cogollo), es el único activo por lo que, el madurante prioritariamente se moviliza hacia éste y prácticamente ningún monto del mismo se desplaza hacia la macolla (15,17).

3.1.12 La maduración inducida

El que hacer de la agroindustria azucarera por definición es producir azúcar como tal, sin embargo, es necesario puntualizar que la producción de azúcar esta directamente relacionada con

el tonelaje obtenido por unidad de área y el rendimiento o contenido de sacarosa por unidad de peso de caña molida.

Anteriormente se mencionaba que entre los principales factores naturales y agronómicos que limitan la maduración natural de la caña de azúcar se encuentran la humedad del suelo, el nitrógeno y la temperatura ambiental, factores que son difíciles de controlar sin la ayuda de un medio artificial, a menos que se cultive en ambientes dotados por la naturaleza en que la planta acumula suficiente concentración de sacarosa como para hacer de la producción de azúcar una actividad altamente rentable. De otra manera, se justifica y prácticamente se hace imprescindible el uso de productos químicos para inducir la acumulación de sacarosa y a la vez, sincronizar la maduración de la caña de acuerdo con la programación de la zafra. Esto ha dado paso a la utilización de la tecnología de aplicación de madurantes en el cultivo de la caña de azúcar que en Guatemala y en general en todo Centro América, así como en Colombia, ha sido altamente rentable (2).

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

En Guatemala las primeras pruebas en el uso de madurante, en este caso glifosato, se hicieron en la primera parte de los años 70, pero ni las pruebas, ni el uso comercial cobró vigencia sino hasta finales de la década de los 80, cuando en Estados Unidos y Colombia ya era comercial el uso de glifosato como madurante y se vislumbraba el apareamiento de fuertes contendientes como el Ethephon, comercializado por Unión Carbide como Ethrel, y la melfluidida, comercializada por la compañía 3M con el nombre de Embark. Ya en ese entonces, en los Estados Unidos,

aparecían dos nuevos candidatos constituídos por el fluazifop, comercializado por la Imperial Chemical Industries como Fusilade, y el setoxydim registrado con el nombre de Poast por BASF.

Aún cuando el madurante no es la panacea milagrosa, que pueda revertir un mal manejo del cultivo, debe recordarse que esta tecnología reviste un potencial que permite mejorar el contenido de azúcar de cultivares que responden a la aplicación, incrementa la producción de azúcar por unidad de área, reduce el volumen de cogollo que se transportan a la fábrica, adelantar, la fecha de inicio de la zafra (primera semana de noviembre en Guatemala), extiende el período de duración de la zafra, aún hasta los meses en que inicia la nueva estación lluviosa (abril y mayo para el caso de Guatemala), detiene el crecimiento en “mamones” y tallos exuberantes presentes en áreas abiertas o con cañas postradas, detiene o suprime la floración, hace que la caña se mantenga erecta al reducir considerablemente el peso del “cogollo”, mejora la cosecha mecanizada, promueve el secado del material vegetativo, promueve una mayor eficiencia del ingenio y mejor la extracción y procesamiento de los jugos (2,12, 14).

A menudo estos beneficios no se logran obtener debido a factores negativos o al desconocimiento de las características del madurante empleado (2, 3, 12,14).

3.2 Marco referencial

3. 2.1 Localización y descripción de la zona cañera guatemalteca

La zona cañera guatemalteca se encuentra ubicada a 14°10' y 14°25' latitud norte. Comprendida desde el nivel del mar hasta los 800 metros de altitud e incluye los departamentos de Escuintla, Retalhuleu, Santa Rosa y Suchitepequez. Desde el punto de vista edáfico, son los suelos del área derivados de cenizas volcánicas, producto de la marcada actividad histórica de la cadena de volcanes circundantes, que ha tenido papel protagónico en la formación y dinámica de estos suelos. Como características especiales de estos suelos son las texturas livianas en un gran porcentaje, aunque hay algunos suelos pesados, los cuales se distribuyen más que todo en las áreas ligeramente planas de los cuerpos de abanico.

Las condiciones climáticas promedio son las siguientes:

Humedad relativa	70%
Evaporación promedio anual a la intemperie:	1545 mm
Días de lluvia promedio anual:	210
Precipitación pluvial media anual:	2000 mm
Temperatura:	28° C

3. 2. 2 Descripción de los materiales

Por ser la variedad CP-722086 la más difundida en el área cañera guatemalteca (70 % del área cultivada) y el ethephon el inhibidor en estudio, a continuación se hará una breve descripción de los mismos.

3. 2.2.1 Variedad CP72-2086

Tiene un color amarillo verdoso (los hijuelos poseen un color rosado en la vaina de la hoja), y se caracteriza por su buen vigor y cierre rápido de calles. Su crecimiento es erecto y no posee afacte, es una variedad muy floreadora (hasta 90%) (19), de fácil corte y desbarejado regular. Tiene buen retorno y se adapta a todo tipo de suelo, aunque su rendimiento merma en forma mínima en suelos poco profundos y arenosos (11).

Es una variedad resistente al carbón de la caña *Ustilago scitaminea* Sydow, y altamente resistente a la roya de la caña *Puccinia melanocephala* H. Sydow et Sydow; es susceptible al mosaico ScMV (Sugar cane Mosaic Virus), con un porcentaje de incidencia de este que oscila entre 10 y 50%; sin embargo no afecta su desarrollo y crecimiento (19).

Esta variedad es de maduración temprana, por lo cual se recomienda su siembra y cosecha para los meses de noviembre a febrero ya que en caso de atrasarse sus actividades, debido a su alto porcentaje de floración, se forma tejido corchoso, empezando por el tercio superior hacia abajo, lo que implica un despunte más abajo y por consiguiente una reducción en la producción (11).

Tiene un buen tonelaje de caña por hectárea y un alto rendimiento en libras de azúcar por tonelada, tanto a nivel experimental como a nivel comercial (11).

A nivel comercial se han obtenido resultados promedio de 116.39 toneladas de caña por hectárea y 94.34 kg/tm (11). En estudios a nivel experimental se ha obtenido de 12.7 a 14% de fibra en plantilla, a los 12 meses de edad, lo cual es un parámetro considerado como adecuado (9).

3. 2.2.2 Ethephon

El Ethrel-480 o ethephon (ácido 2-cloroetilfosfónico) está clasificado como un regulador de crecimiento (6), que actúa liberando etileno en el interior de las plantas. Su uso en el cultivo de la caña de azúcar se ha centrado en mejorar la maduración (concentración de sacarosa en el tallo) o en inhibir la floración, con un aumento de la productividad agrícola.

Uno de los efectos más comunes que se ha encontrado con la aplicación de este madurador en la caña de azúcar, es el incremento de la biomasa del tallo por la activación del crecimiento en diámetro de los entrenudos y no tiene efectos bioquímicos en la acumulación de azúcares en el parénquima reservante del tallo, sino que favorece el incremento de la masa fresca del tallo y por tanto, el pol/ha (22).

Otros efectos del Ethrel-480 son el alargamiento del período de corte de las variedades de maduración temprana, con la consiguiente inhibición de la floración (7).

El Ethrel-480 es un activador del metabolismo vegetal e influye en el crecimiento de muchos órganos de la planta, como se demuestra en yemas aisladas de caña de azúcar, donde se evidenció su efecto positivo en algunas variables fisiológicas como: área foliar, hojas activas y en el porcentaje de brotación, que fue superior en comparación con el testigo (9).

Existen muchos trabajos que estudian el efecto de diferentes agentes químicos sobre la anatomía de los cultivos, pero es limitada la información acerca de la influencia de este madurador sobre la anatomía de la caña de azúcar (9).

El ethephon es un concentrado líquido transparente, soluble en agua, con una densidad de 1.2 g./cm³ a 20°C. El producto no es inflamable, tiene un pH de 1 (13). Ethephon, libera etileno dentro de los nudos de la planta al aplicársela a la caña de azúcar y a otras plantas (10).

Contienen 480 g del ingrediente activo por litro, y tiene la característica de un ácido fuerte siendo completamente soluble en agua (3).

Es un regulador de crecimiento de las plantas y posee la propiedad de que es rápidamente absorbido por las plantas, liberando etileno en el tejido vegetal, induciendo una mayor síntesis del mismo (3).

El etileno se considera como un regulador de crecimiento que ocurre naturalmente, el cual afecta gran variedad de procesos de crecimiento (10). El etileno (C_2H_4), es una hormona que actúa en el proceso bastante complejo de la iniciación y regulación de la floración, y todos los procesos fisiológicos asociados con la maduración y envejecimiento (3).

El etileno detiene temporalmente el crecimiento de la planta en tamaño, principalmente a través de la influencia sobre la acción de las auxinas en la elongación celular. También ejerce una acción sobre la disposición de las microfibrinas en la pared celular, la cual es mediada por las auxinas. El resultado es que el crecimiento celular se orienta en el sentido radial. Esto da como resultado que las células en vez de tener una forma rectangular, sean isodiamétricas, lo que conlleva un desarrollo más grueso del tallo (3).

El efecto normal de la acción del etileno se traduce en un amarillamiento de las hojas 3-4 días posteriores a la aplicación y dura 7-8 días y luego desaparece (3).

El entrenudo que en ese momento está en formación sufre una reducción de su tamaño, pero es más grueso, dando lugar a un entrenudo “tipo barrilito” que se observa al cabo de 3-2 semanas después de la aplicación (3).

Luego de que la planta se recupera del “estrés” que le produce la acción del producto (a partir de los 15 días), continuará su normal crecimiento y los entrenudos que se formen alcanzarán un tamaño normal (3).

El ethephon, es estable si la concentración del ion oxidrilo (-OH) es baja, es decir si el pH es ácido. A penas sube el pH dentro de la planta, la molécula del ácido se descompone en etileno, cloruro y fosfato (3).

Al aplicársele un poco antes del período de inducción de la floración (ocurre cuando se da un período de 12.5 horas luz), ethephon interrumpe este proceso fisiológico. Parece que causa una dominancia en el punto de crecimiento durante un corto período, después del cual continuará su crecimiento vegetativo. Este producto no daña ni destruye el punto de crecimiento como lo hacen otros productos que están diseñados para matar los nudos que están desarrollando, pero no permiten que continúe el crecimiento vegetativo (10).

Según las recomendaciones del fabricante (Rhone-Poulenc Agroquímica), la caña que se ha tratado con el ethephon para inhibir la floración se puede dejar en el terreno el tiempo que sea necesario sin que perjudique su crecimiento (10).

Ethrel® 48 SL

- Ingrediente activo = Ethephon
- Nombre químico = Acido-2-cloroetil-fosfónico
- Grupo químico = Derivado del ácido fosfónico
- Concentración y formulación = 480 g/L SL (concentrado soluble)
- Modo de acción = Contacto, hormonal
- Fabricante / formulador = Bayer CropScience S.A., Francia y filiales
- Registro S.A.G. = N° 4013
- Toxicidad = Normalmente no ofrece peligro
- LD50 producto comercial = dermal 5.730 mg/kg; oral 4.229 mg/kg
- Antídoto = Tratamiento base

Ethrel libera etileno dentro de los tejidos vegetales poco después de la aplicación. El etileno es una hormona natural que induce y regula diferentes procesos en las plantas. Actúa en los procesos de maduración, coloración y senescencia en las plantas tratadas (6, 7).

Puede causar daño severo a los ojos e irritación a la piel, por lo que evite el contacto con la piel, ojos y ropa. Es peligroso si se ingiere o inhala. Manipular con cuidado. Durante la manipulación y aplicación del producto utilice equipo de protección: overol impermeable, guantes de PVC o neopreno, botas de goma, protector y máscara facial. Procurar ventilación adecuada en el lugar de trabajo. No comer, beber o fumar durante su manipulación o aplicación. No exponerse a la neblina de la pulverización. No aplicar con viento. No aplicar en presencia de niños, personas en general y animales domésticos. Después del trabajo, lavar prolijamente con agua y jabón todas las partes del cuerpo expuestas al producto. Sacar la ropa contaminada y lavarla separadamente de la ropa de casa. Lavar la piel expuesta antes de comer, beber, fumar o ir al baño. Lave con abundante agua los equipos utilizados en la aplicación. Precauciones al medio ambiente: Tóxico a peces y nocivo para aves. No contaminar alimentos, forrajes, cursos o fuentes de agua con el producto o sus envases. Tiempo de reingreso al área tratada: no reingresar antes de transcurridas 2 horas después de la aplicación, verificando que la aspersion se haya secado sobre la superficie tratada. No permitir el pastoreo de animales hasta siete días después de la aplicación (6, 7).

Compatible con NNA800, Rovral, Benomilo. Al realizar una mezcla no conocida, se recomienda efectuar una confirmación previa de compatibilidad. No mezclar con productos que contengan iones metálicos como fierro, zinc, cobre, ni fungicidas que contengan manganeso. Incompatible con materiales alcalinos. No es fitotóxico, en las especies vegetales recomendadas, al ser aplicado de acuerdo con las instrucciones de esta etiqueta y siguiendo las Buenas Prácticas Agrícolas (6, 7).

Este producto es más efectivo cuando se aplica 1-2 semanas antes de la inducción de la floración. (3) Para las condiciones de Guatemala el período de inducción ocurre durante la última semana de agosto y la primera de septiembre (15). Una vez ocurrida la inducción es demasiado tarde y se pierde parte del beneficio del tratamiento (3).

Para poder aplicar el ethephon es necesario determinar el período en que ocurre la inducción floral, y es cuando la duración del día baja más o menos 12 horas y 30 minutos (3).

En el momento de la aplicación, las plantaciones no deben estar sufriendo ningún tipo de estrés por falta de humedad, fertilización o excesiva temperatura ambiental (3).

3. 2. 3 Antecedentes de investigaciones usando como inhibidor de la floración el ethephon.

Según Bocanegra (7), para que se diera la inhibición de la floración (no indica en que porcentaje se da la inhibición), bajo las condiciones de Cuba, fue necesario aplicar el ethephon entre la segunda y tercera semana de agosto.

De acuerdo con la duración del día de 12.5 horas luz, la inducción floral en Cuba ocurre entre la cuarta semana de agosto y tercera semana de septiembre. Para la realización de la investigación se programaron tres aplicaciones con sus respectivos testigos: primera aplicación la tercera semana de agosto; segunda aplicación: cuarta semana de agosto; tercera aplicación: tercera semana de septiembre; aplicando 600 g del ethephon. Para las aplicaciones se garantizó una solución final de 30 l/ha, empleando boquillas de tipo cono hueco No. D12 con difusor 45 (3).

En la figura 3 se muestra la región cañera del país, donde cabe mencionar que sobresalen tanto por eficiencia como por extensión territorial los ingenios La Unión, Pantaleón y Magdalena.

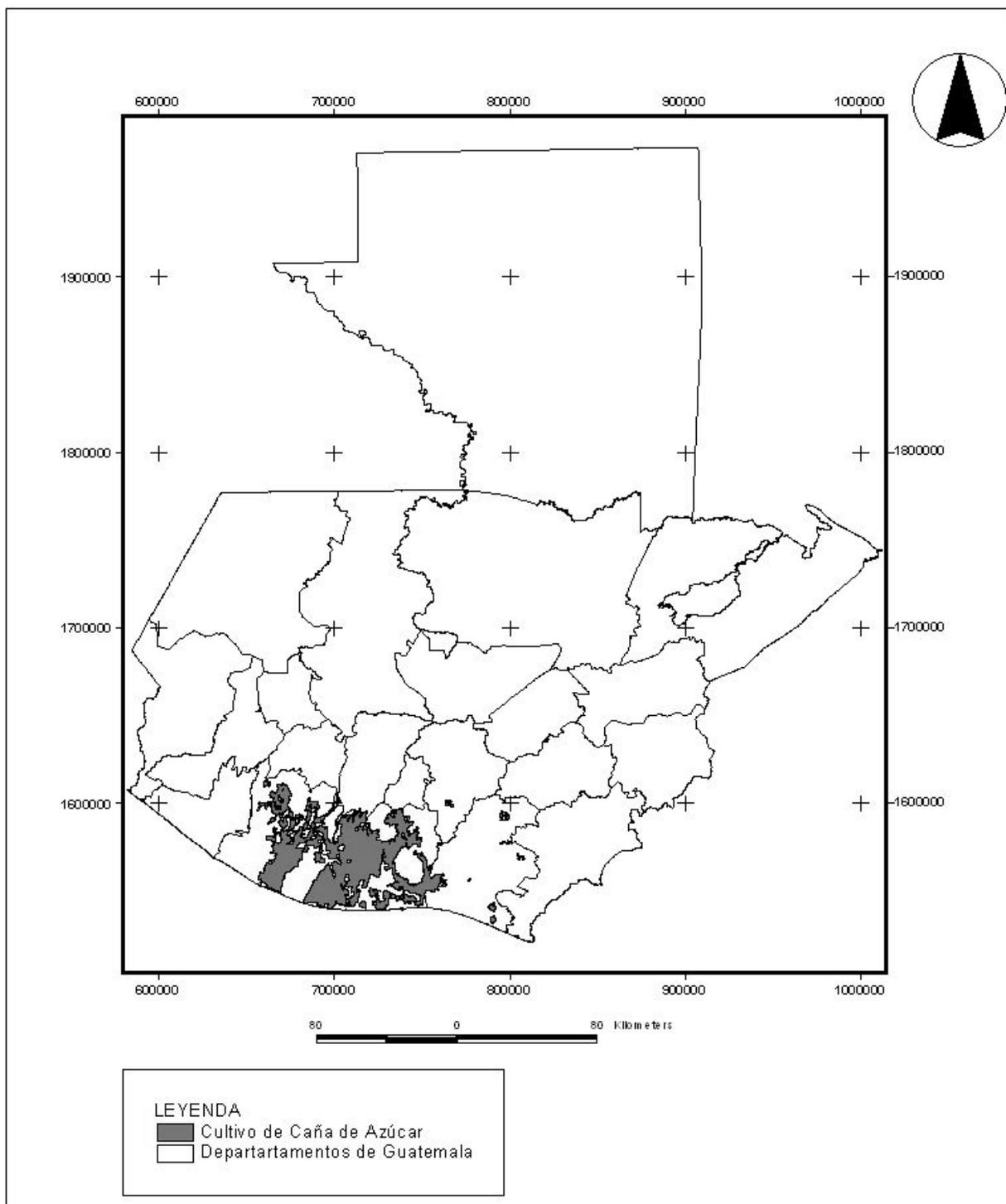


Figura 3. Mapa de ubicación de las áreas de cultivo de caña de azúcar en Guatemala.

Fuente: Saenz soto (23).

4. OBJETIVOS

4.1 Objetivo general

Recopilar y sistematizar la información sobre la experiencia en el uso del Ethephon como inhibidor de la floración en el cultivo de la caña de azúcar (*Saccharum* spp.) en Guatemala.

4.2 Específicos

4.2.1 Dar a conocer los resultados obtenidos con Ethrel como inhibidor floral en caña de azúcar (*Saccharum* spp.) en Guatemala.

4.2.2 Contribuir al conocimiento de los factores asociados a la aplicación que influyen la productividad y con ello aportar lineamientos para su manejo.

5. METODOLOGÍA

El presente documento se desarrolló bajo el programa extraordinario de graduación.

De acuerdo a lo anterior la metodología se basó en la sistematización y la interacción relación-análisis de la información generada con el uso de Ethephon como inhibidor de la floración en el cultivo de la caña de azúcar.

El presente trabajo se elabora en base a la experiencia adquirida durante años, en relación laboral con la empresa Bayer S.A., en la aplicación comercial del ETHEPHON (ETHREL 48 SL), como inhibidor de la floración en la caña de azúcar (*Saccharum spp*)

En resumen consistió en la ubicación de las áreas aplicadas en los Ingenios La Unión, Magdalena y Pantaleón, recopilación de los datos generados en las áreas aplicadas, revisión de los programas de aplicación de inhibidores de floración en caña de azúcar de los tres ingenios y análisis de resultados.

Se utilizaron para el levantamiento de la información las siguientes fases

5.1 Fase de gabinete

Esta fase se realizó mediante el análisis de los registros de la información generada en CENGICAÑA, específicamente en el Ingenio La Unión, se revisó los trabajos de investigación relacionados con el uso técnico de Ethephon, sobre los cuales se aportó con las experiencias personales adquiridas durante las labores de aplicación de este inhibidor de la floración en dicho ingenio. En esta fase también se realizó consultas y entrevistas con especialistas de la materia, tales como el Ing. Agr. Manuel Martínez e Ing. Agr. Juan Carlos Toledo.

5.2 Revisión de programas de aplicación de madurantes de varios ingenios del país

A manera de tener patrones de comparación se consultó los programas de aplicación de madurantes de los ingenios del país en cuanto a principales madurantes utilizados como inhibidores de la floración, dosis e ingredientes activos. Además se revisaron trabajos relacionados con aplicación de madurantes, seleccionándose la información a consideración del autor resultó la más consistente, considerándose como más consistente aquella que por dar los mismos resultados en distintos ensayos independientes, mostró un similar comportamiento.

5.3 Análisis, interpretación y presentación de resultados

Toda la Información fue analizada y constituye los resultados y su discusión de la presente investigación.

En esta fase se elaboró una base de datos, que permitió construir cuadros comparativos y gráficas, lo que permitió visualizar el comportamiento de distintas variedades relacionadas con la inhibición de la floración de la caña de azúcar y sus diversas técnicas de aplicación en el transcurso del tiempo.

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Este documento constituye una herramienta útil para dar a conocer los resultados y los beneficios de la aplicación de ETHEPHON en la inhibición floral de la caña de azúcar (*Saccharum spp*).

Los ensayos con inhibidores de la floración, se realizaron en la empresa Pantaleón, S.A., Ingenio La Unión e Ingenio Magdalena.

6.1 Características de los lugares donde se establecieron los ensayos

6.1.1 Ingenio Pantaleón

Dentro de las generalidades más importantes de este ensayo se menciona que la investigación se llevó a cabo en la Empresa Pantaleón, S.A. ubicada a 14° 19' latitud norte y 90° 59' longitud oeste, a una altitud de 272 msnm (9).

En base a los registros meteorológicos de la estación tipo "B" las condiciones climáticas promedio son las siguientes:

Humedad relativa	70%
Precipitación pluvial media anual:	3766 mm
Días de lluvia promedio anual:	210
Temperatura:	27° C
Evaporación promedio anual a la intemperie:	1545 mm

6.1.2. Ingenio La Unión

Otro ensayo se estableció en la zona baja del Ingenio La Unión (0-300 msnm).

Humedad relativa	85 %
Precipitación pluvial media anual:	3,885 mm

Días de lluvia promedio anual:	245
Temperatura:	29° C
Evaporación promedio anual a la intemperie:	1625 mm

6.1.3 Ingenio Magdalena

En el año 1998 en el ingenio Magdalena se evaluó el mismo producto (ethephon), en la misma variedad de caña de azúcar (cp 722086). Esta empresa se encuentra localizada a 14°21' latitud norte y 91°09' longitud oeste.

Las condiciones climáticas predominantes en esta zona son las siguientes:

Humedad relativa	80%
Precipitación pluvial media anual:	3150 mm
Días de lluvia promedio anual:	210
Temperatura:	27° C
Evaporación promedio anual a la intemperie:	1545 mm

6.2 Recolección de información agro-climática

Esta fase se realizó mediante el análisis de los registros de la estación Mirador, localizada en esta área y está determinada principalmente por el nivel altitudinal de la zona baja, de producción de la zona baja de (0 a 300 m.s.n.m). De acuerdo a la información recabada las características de suelo de la región bajo estudio se describen a continuación.

En el área de la zona baja predominan los suelos Mollisoles en un 40 % del área cañera, aunque también se encuentran suelos del orden Andisol ocupando un 26 % y Entisol e Inceptisol en un menor porcentaje.

Estos suelos ocurren en la parte media de los abanicos que conforman la llanura fluvio volcánica. Este sub paisaje ha sido ocasionalmente disectado por corrientes de aguas, que desciende de la montaña. Los suelos son profundos y moderadamente profundos, limitados en ciertas zonas por el nivel freático; el drenaje natural es bueno a excesivo y la capacidad de retención de humedad es muy baja (3). Las características de altitud, precipitación promedio anual y orden de suelo, se resumen en el cuadro 2.

Cuadro 2. Clasificación de la zona cañera por estratos.

Estrato	Rango altitudinal (msnm)	Altitud (msnm)	Precipitación promedio anual (mm)	Orden del suelo
I Zona alta	>300	550	>3,000	Andisol
		450	>3,000	Andisol
		350	>3,000	Andisol
II Zona media	100 - 300	250	2,500 - 3,000	Andisol
		250	2,500 - 3,000	Inceptisol
		ISO	2,000 - 2,500	Andisol
		ISO	2,000 - 2,500	Inceptisol
III Zona baja	< 100	75	1,500 - 2,000	Andisol
		75	1,500 - 2,000	Mollisol
		<50	<1,500	Mollisol
		<50	<1,500	Entisol

Fuente: Cengicaña 1995.

Respecto a las características de los órdenes de suelo predominantes en la zona cañera, se puede resaltar tal como se aprecia en el cuadro 3, que en general pertenecen a suelos poco evolucionados, con escasa o nula retención de humedad, y con alto contenido de fósforo.

Cuadro 3. Agrupación de los suelos por orden cartografiados en la zona cañera del sur de Guatemala

Orden	Extensión (ha)	% del total	Principales características
Mollisoles	135,670	39.7	Suelos medianamente evolucionados del perfil ABC y AC colores oscuros, con texturas predominantemente franco arenosas y complejo saturado. Se localizan en el cuerpo y parte distal de los abanicos aluvio - coluviales
Andisoles	88,161	25.7	Suelos poco evolucionados, de colores oscuros humíferos de baja densidad aparente y alto contenido de alófanos. Tienen alta capacidad de retención de fosfatos y son de textura media. Se localizan en el cuerpo y ápice de los abanicos y conos de pie de monte
Entisoles	54,273	15.9	Suelos no evolucionados de perfil AC, muy permeables, de texturas gruesas. Presentan déficit de agua en verano. Se encuentran en los valles y explayamientos aluviales
Inceptisoles	36,343	10.6	Suelos medianamente evolucionados, de complejo de cambio desaturado, con texturas medias y arcillosas. Se localizan en el ápice y cuerpo de los abanicos
Alfisoles	5,430	1,6	Suelos evolucionados, de perfil ABC, con acumulación de arcillas en B, generalmente tienen texturas arcillosas, se localizan en el cuerpo de los abanicos
Vertisoles	3,696	1.0	Suelos evolucionados, de perfil ABC arcillosos, se agrietan fuertemente en verano. Se localizan cuerpo de los abanicos
Otros suelos	18,549	5.4	Suelos misceláneos
Total	342,000	100	

Fuente: Cengicaña 1995.

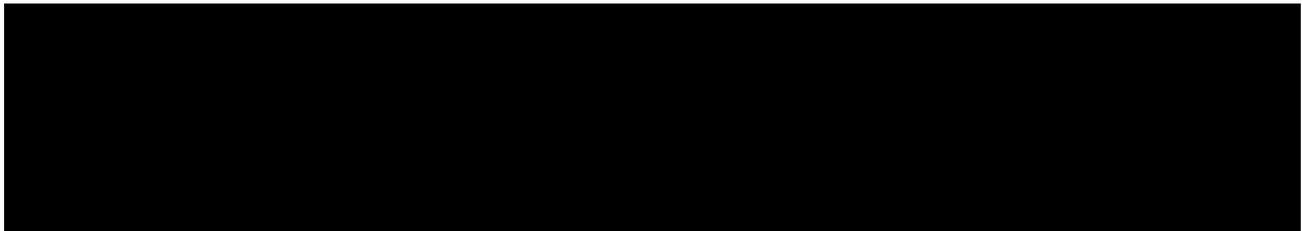
Como ya se anotó y se resaltó en el marco conceptual, la humedad juega un papel importante en la forma de actuar y en la respuesta anato-morfológica de la caña de azúcar. En el cuadro 4 se observa que el comportamiento en la precipitación en la zona baja mantiene cierta tendencia, concentrándose en los meses de mayo a octubre, por lo que es necesario tomar en cuenta este factor más adelante cuando se discuta lo referente a las fechas de aplicación del Ethephon. En general se considera como zona de alta precipitación, ya que como se indicó son datos de 5 años, de acuerdo a la estación meteorológica del ingenio La Unión.

Cuadro 4. Precipitación pluvial mensual de las fincas de la zona baja del Ingenio La Unión.

		ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEPT.	OCT.	NOV.	DIC.	TOTAL
Año	FINCA	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
	Zona Baja	10-100 msnm												
2001	Prom. Zona	0	10	6	16	177	161	174	87	277	127	7	0	1,041
2002		0	0	0	14	165	135	204	112	280	105	18	1	1,034
2003		0	10	24	18	276	435	228	286	143	213	126	1	1,760
2004		1	26	30	49	259	255	179	290	332	231	16	9	1,291
2005		1	0	14	21	158	452	226	259	468	860	20	1	2,481
Prom		0	9	15	24	207	288	202	207	300	307	37	2	1,521

Fuente: Depto de Investigación Ingenio La Unión.

El brillo solar es otro factor importante, ya que influye en el crecimiento del cultivo y la flora espontánea, ya que interviene en el proceso de la fotosíntesis. El brillo solar tiene una media de 2,275 horas, con una mínima de 1,932 y una máxima de 2,744 horas. En el cuadro 5 se puede observar lo anteriormente acotado, siendo necesario hacer hincapié en que este brillo solar es bien aprovechado por el cultivo, ya que posee el modelo fotosintético más eficiente, el modelo llamado C4, lo cual es una gran ventaja en el metabolismo del Ethepon, ya que por ser un producto hormonal fácilmente es incorporado en el proceso fisiológico del cultivo. La caña de azúcar posee una de las tasas metabólicas más altas, por lo cual el Ethepon puede actuar y ser incorporado fácilmente.

Cuadro 5. Brillo solar de estación Mirador, La Gomera, Escuintla

6.3 Descripción de los tratamientos

Los tratamientos utilizados en los ensayos fueron seleccionados de acuerdo a la experiencia lograda a través de tres años de pruebas semi-comerciales en las diferentes fincas de los ingenios. Luego de evaluar cinco diferentes dosis que iban desde 0.75 lts/ha a 1.75 lts/ha se optó por una dosis de 1.5 lts/ha de producto comercial.

El Cuadro 6 resume las dosis aplicadas para cada uno de los ingenios.

Cuadro 6. Descripción de los tratamientos utilizados en los ensayos

Descriptor	Ingenio Pantaleón	Ingenio La Unión	Ingenio Magdalena
Testigo	0.00 g de ia/ha	0.00 g de ia/ha	0.00 g de ia/ha
Dosificación del Ácido 2-cloroetilo fosfórico	720.00 g de ia/ha	720.00 g de ia/ha	720.00 g de ia/ha

Fuente: El autor

6.4 Resultados ingenio La Unión

En el Ingenio La Unión luego de tres años de investigaciones conjuntas, se decidió efectuar aplicaciones en 9 fincas diferentes, estos ensayos fueron de carácter comercial, tomando como variables de respuesta toneladas de caña producidas por unidad de área, quintales de azúcar por unidad de área. En general tal como se aprecia en el cuadro 7, se obtuvo una respuesta positiva a la aplicación de Ethepon, ya que en promedio se ganó 9.81 toneladas caña / ha (8,918 kg/ha).

El dato anterior equivale a 11.17 quintales azúcar por manzana (726 kg/ha).

Al realizar un análisis más detallado se puede observar que no todas las fincas dieron resultados positivos a la aplicación esto debido a que los resultados dependen mucho de las

condiciones homogéneas de los lotes evaluados así como del momento de la aplicación, condiciones agrometeorológicas previas a la aplicación y al manejo de los lotes escogidos.

Cuadro 7. Reporte final de las áreas aplicadas con ethrel 2000 - 2001.

Finca	Área MZ		ton/mz			qq az/mz			ton/ha		
	Ethrel	Testigo	Ethrel	Testigo	Diferencia	Ethrel	Testigo	Diferencia	Ethrel	Testigo	Diferencia
Cristóbal II	113,02	35,17	44,15	48,66	-4,50	106,42	117,06	-10,65	63,14	69,58	-6,44
Tehuantepec	196,26	57,47	82,21	69,71	12,50	192,33	165,99	26,34	117,56	99,68	17,88
Guanipa	146,62	87,08	96,11	94,66	1,45	211,84	219,12	-7,28	137,44	135,37	2,08
San Carlos II	63,57	36,96	78,46	76,10	2,36	182,38	190,12	-7,74	112,20	108,83	3,38
Montañesa	162,19	228,1	87,09	78,43	8,66	211,15	196,20	14,95	124,54	112,16	12,38
Río Azul	79,83	208,73	97,80	93,33	4,47	226,22	220,62	5,60	139,86	133,46	6,40
Margaritas	67,19	13,65	80,90	62,68	18,22	190,31	157,65	32,66	115,69	89,63	26,06
Virginia	201,67	84,8	86,67	85,66	1,02	209,42	208,09	1,33	123,94	122,49	1,45
Monte Alegre	214,47	102,8	79,96	62,38	17,58	192,39	147,06	45,32	114,35	89,20	25,14
TOTAL	1244,82	854,76	81,49	74,62	6,86	191,38	180,21	11,17	116,52	106,71	9,81

Fuente: El autor

El cuadro 8, presenta un análisis detallado donde se comparan las diferentes fincas en función de la productividad. La mayoría de fincas dieron resultados satisfactorios, obteniéndose un incremento de producción de azúcar, por unidad de área, que es el objetivo final.

Cuadro 8. Evaluación de la producción de toneladas de caña de azúcar en la fincas aplicadas con ethrel versus el testigo. 2000

Finca	Ethrel ton/ha			Testigo ton/ha			Diferencias con el testigo
Cristóbal II	161.62	4990	63.14	50.29	3499.39	69.58	-6.44
Tehuantepec	280.65	19800	117.56	82.18	8191.91	99.68	17.88
Guanipa	209.66	16075	137.44	124.52	16856.87	135.37	2.07
San Carlos II	90.90	8414	112.2	52.85	5751.97	108.83	3.37
Montañesa	231.93	24369	124.54	326.18	36584.69	112.16	12.38
Río Azul	114.16	34236	139.86	298.48	39835.66	133.46	6.4
Margaritas	96.08	16567	115.69	19.52	1749.53	89.63	26.06
Virginia	288.38	17479	123.94	121.26	14853.63	122.49	1.45
Monte Alegre	306.69	24855	114.35	147.00	13112.76	89.2	25.15
Total	1780.07	208,990.84	116.52	1,222.31	140,436.31	106.71	9.81

Fuente: El autor

En general la mayoría de fincas mostró efecto positivo por la aplicación.

La figura 4, muestra de forma más clara diferencias obtenidas finca por finca respecto a la variable toneladas de caña por hectárea.

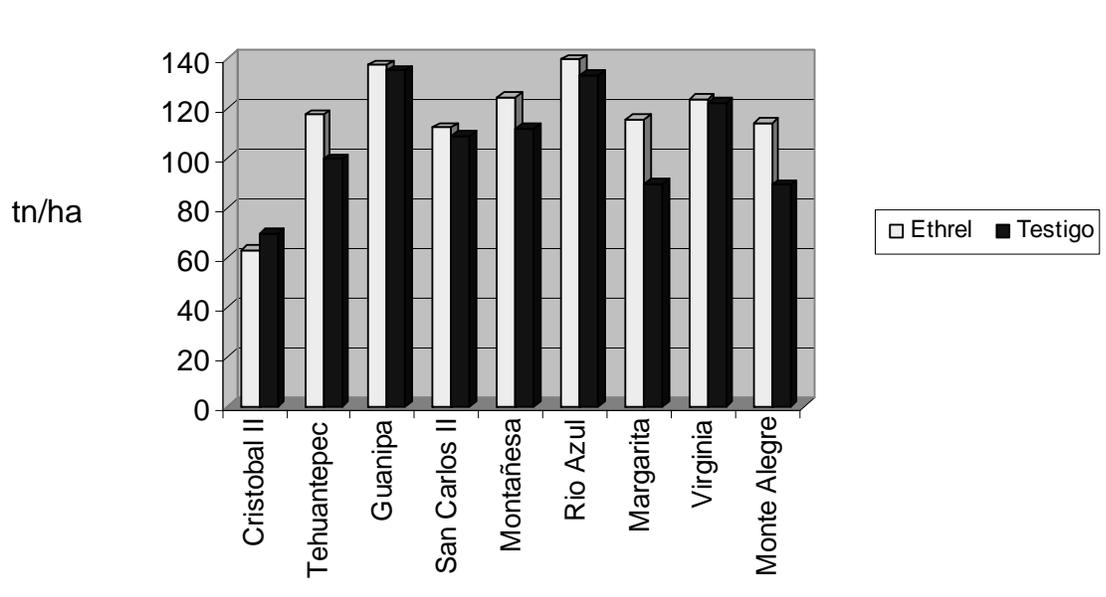


Figura 4. Efecto de ethephon en la variable rendimiento toneladas de caña por hectárea

Cuando se analizó el efecto de ethephon en las fincas, tomando en cuenta el incremento o el decremento de la producción toneladas de caña, producto de la comparación de los tratamientos con el testigo, es posible observar que 8 de las 9 fincas presentan un incremento y solo Cristóbal II muestra un decremento en el rendimiento. Luego de analizar con el departamento de investigación las posibles causas de éste resultado se concluye en que la fecha de aplicación, así como los lotes escogidos como testigos, no presentaban condiciones agronómicas normales, (alta humedad), para la validación de los resultados de años anteriores. Y que estos resultados eran ajenos al producto evaluado.

Lo anterior se puede observar en la figura 5.

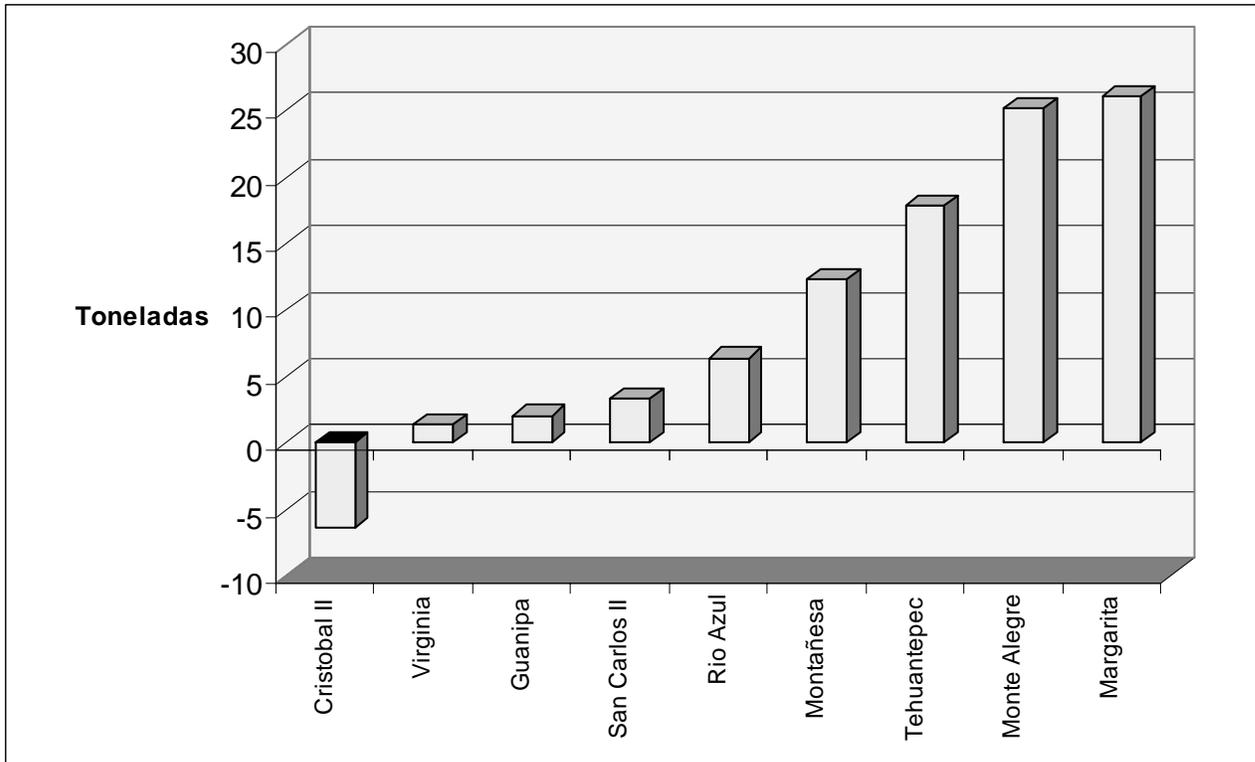


Figura 5. Efecto del ethrel por finca. 2000-2001.

6.5 Resultados ingenio Pantaleón y Magdalena

Cuando se analizó los resultados anteriores, obtenidos en el ingenio La Unión, se pretende explicarlos en función de la productividad, pero al estudiarlos más a fondo se establece que la ganancia o incremento en la productividad obedece a la reducción en la floración, tal como quedara demostrado a continuación cuando ya se presentan los resultados obtenidos en el Ingenio Pantaleón y Magdalena.

Biológicamente, cuando un vegetal está por completar su ciclo entra al proceso de reproducción (requiere preparación anatómica, morfológica y fisiológica). Forma las estructuras adecuadas para la fecundación (gametos) y en la parte fisiológica, lo hace preparando estructuras

especializadas para almacenar reservas que puedan ser la fuente provisoria de energía para los incipientes nuevos individuos que se formarán de la unión de los gametos (fecundación). En las distintas fases del proceso reproductivo el vegetal invierte energía que se utiliza en el mismo proceso o que debe almacenarse en estructuras especializadas para proveer de energía al nuevo individuo, mientras éste no es autosuficiente

La floración, y el proceso de reproducción en si, es un fenómeno altamente dependiente de energía por lo cual es un gran consumidor de substratos aportadores de ésta, como lo es la sacarosa, carbohidrato universal para transporte en el floema de los vegetales, que al quedar de excedente se almacena en estructuras especializadas como lo son los tallos de la caña de azúcar. De esta manera, inhibir o suprimir la floración (cuando no se utiliza para la producción de órganos sexuales de los vegetales), es una práctica agronómica muy deseable para el caso de la caña de azúcar, entendiéndose que es principalmente en los últimos estadios del cultivo (llamada fase de maduración), cuando se requiere de los menores gastos de energía, para que la que proviene del proceso fotosintético de las hojas aún activas, tenga más oportunidad de acumularse, prioritariamente en los entrenudos superiores.

El proceso de floración en la caña de azúcar conlleva eventos biológicos que tienen repercusión agronómica negativa en la producción de azúcar, ya que una vez iniciado, si no se frena o se revierte, conduce al deterioro de los tallos de caña que lo manifiestan con una reducción en su tasa de acumulación de sacarosa que, si continúa, puede llegar a provocar hasta el consumo de la sacarosa que ya se había almacenado, especialmente en los entrenudos superiores del tallo. Así, si un tallo floreado permanece largo tiempo sin cosecharse en el campo, el desarrollo de las estructuras florales se produce mediante el consumo de energía aportada por la sacarosa almacenada en los entrenudos superiores, fenómeno que agronómicamente se

evidencia con el acorchamiento de la parte apical del tallo y que continúa su avance mostrando un patrón basipétalo, conforme la caña permanezca en el campo sin ser cosechada.

En las variedades originarias Canal Point (identificadas con las siglas CP), el grado de acorchamiento es variable según la variedad y el porcentaje de floración que se presente. Siendo de este grupo las variedades CP72-1210 y CP73-1547 las más floreadoras, siguiéndoles CP72-2086, esta última presenta también niveles de acorchamiento menores a las otras dos.

Al igual que la floración, el proceso de emisión de brotes laterales, conocido comúnmente como “laleo”, también está asociado al deterioro de la caña de azúcar, especialmente en los últimos estadios de la fase de maduración. Así, cuando la planta de caña emite el meristemo floral, prácticamente cesa su crecimiento por lo que se rompe la dominancia apical, induciendo el inicio del desarrollo de los brotes laterales los que viven a expensas de la sacarosa almacenada en los últimos entrenudos, que sin embargo no producen un acorchamiento violento como el ocasionado por el fenómeno de la floración en sí.

En la figura 6, aparecen los valores promedio en reducción de la floración, al aplicar Ethephon, con estos datos es posible concluir que la ganancia en producción obedece a la reducción de la floración, obteniéndose valores promedio de 58.08% en reducción de floración en lotes aplicados vs. no aplicados.

La floración debe de ser considerada como una etapa natural de maduración del cultivo, que tiene efectos negativos en la producción de azúcar, ya que los tallos superiores forman corcho, el que absorbe azúcares a manera de esponja. La formación de corcho es una consecuencia de la formación de la flor. La flor consume para su formación buena cantidad de azúcares que al no poder ser extraídos en la fábrica ocasiona pérdidas considerables a la agroindustria.

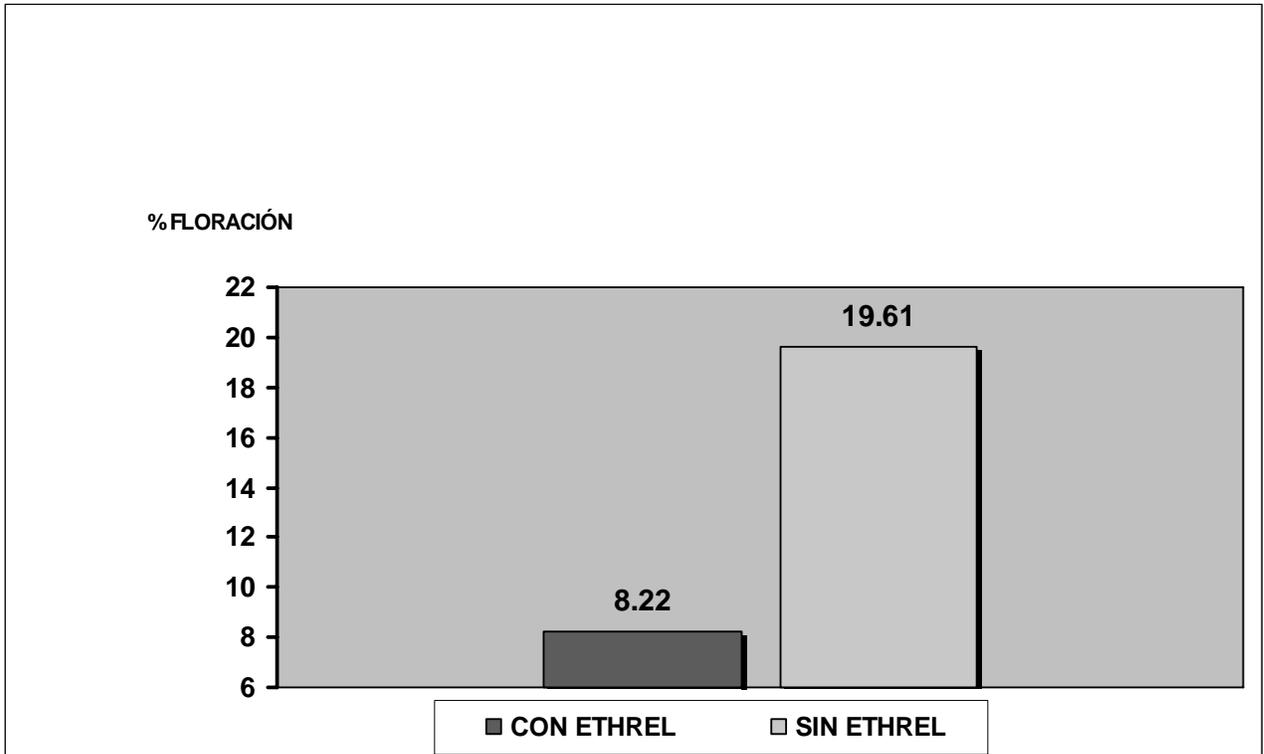


Figura 6. Evaluación del efecto del ethrel en la inhibición de la floración, variedad CP72-2086, ingenios Pantaleón y Magdalena, 2004.

El cuadro 9 muestra la relación floración- formación de corcho encontrada en ensayos establecidos en el Ingenio Magdalena, se puede ver que existe una relación directa entre el porcentaje de flor y el porcentaje de corcho en la variedad aplicada; a mayor cantidad de flor mayor cantidad de corcho.

Se puede observar que al comparar dos temporadas de cosecha sucesivas, los lotes aplicados con Ethepon muestran mejores resultados que los testigos, en lo referente a ton/ha., teniendo mejores resultados en la zona baja en comparación con los lotes cosechados en la zona media.

Es de notar el grado de acorchamiento sufrido por los tallos molederos que puede incluir aproximadamente un 40 % de ellos pero, debe puntualizarse que el acorchamiento va asociado mas al fenómeno de la floración en sí y no tanto al laleo que resulta como un efecto secundario al rompimiento de la dominancia apical, que se induce al frenar el crecimiento activo del meristemo

terminal. Es decir, el acorchamiento no es producto del laleo, pero si es un fenómeno altamente asociado a la floración.

Cuadro 9. Análisis de datos por finca y número de cortes ethrel 99/2000

Finca	Edad	% flor	% corcho	ton/ha 99/2000	ton/ha 98/99	Diferencia	Tratamiento	Altitud
Asuncion	3	19,85	3,81	84,81	75,96	8,85	aplicado	zona media
Asuncion	3	52,34	16,1	95,03	96,07	-1,04	testigo	zona media
				-10,22	-20,11			
Santa Irene	4	24,45	8,79	146,68	117,12	29,56	aplicado	zona media
Santa Irene	4	43,66	16,08	137,76	131,44	6,32	testigo	zona media
				8,92	-14,32			
Kenya	2	45,24	11,85	130,8	89,91	40,89	aplicado	zona baja
Kenya	2	70,74	23,73	122,16	98,55	23,61	testigo	zona baja
				8,64	-8,64			
Granada	2	33,96	11,2	133,87	89,98	43,89	aplicado	zona baja
Granada	2	49,16	17,17	119,85	86,88	32,97	testigo	zona baja
				14,02	3,1			
Granada	3	36,34	10,28	132,73	102,01	30,72	aplicado	zona baja
Granada	3	36,74	16,94	139,01	112,74	26,27	testigo	zona baja
				-6,28	-10,73			

La influencia detrimental del proceso de floración sobre el rendimiento agronómico en la caña de azúcar no puede reducirse manejando las variables climáticas como duración e intensidad lumínica, régimen de precipitación anual, régimen de temperaturas durante el año. Estas variables, en nuestras latitudes, son muy impredecibles de un año para otro. Existe además una deficiente red meteorológica y de registros a largo plazo, que permitan elaborar y correlacionar tablas y curvas para entender cuando y como toma lugar un fenómeno muy complejo como lo es la floración. La variedad más sembrada en Guatemala, la CP72-2086, aunque es una variedad floreadota, no florea en nuestras latitudes mas allá del 60% y no sufre un deterioro violento en el campo después de iniciado el proceso de la floración, por lo que dicha variedad ha sido sembrada para cosecharse practicamente a todo lo largo del período de zafra ya que este comportamiento lo permite.

6.6 Ensayos con resultados consistentes

Barneond (3), en la zafra 1994–1995, en aplicaciones realizadas en la variedad CP-721210, con avión y el ingrediente activo ethephon en dosis de 0.71 lts / ha, obtuvo un incremento de 5 kg. de azúcar / ton., lo cual pone en evidencia los beneficios de aplicar este producto hormonal, no teniendo efectos secundarios en el deterioro varietal. Estos resultados se resumen en el cuadro 10.

Cuadro 10. Resumen de resultados de los ensayos realizados en la zafra 94 –95

Producto	Dosis / ha	Edad al corte	kg. azúcar / ton.
Ethephon	0.71 lts	16.5 meses	Incremento de 5 kgs az/t

Fuente: Barneond (3).

En la zafra 1995 – 1996, aplicaciones en la variedad CP72-2086, con avión y Ethephon en dosis de 1.45 lts / ha, incrementó 5 kilogramos de azúcar por tonelada. Lo anterior se resume en el cuadro 11.

Cuadro 11. Resumen de Resultados de la variedad CP-722086 durante la zafra 95 – 96

Producto	Dosis/ha	kg. de azúcar / ton	Incremento kg. de azúcar / ton
Ethephon	1.45 Lts	95.90	5.00

Fuente: Barneond (3).

7. CONCLUSIONES

1. En Guatemala el método más rápido y seguro para manejar la flor en el cultivo de la caña de azúcar es mediante inhibidores de la floración (ethephon).
2. Guatemala posee más del 65% de variedades floreadoras en sus campos de las cuales la más importante es la CP72-2086 (57%).La cual ha logrado ser manejada con ethephon.
3. La época de aplicación de ethephon para nuestro país, en los últimos años se ha ubicado desde la última semana de julio a la última de agosto, siendo la dosis establecida para el manejo de flor de 720 grs. de i.a. por hectárea, para las condiciones de Guatemala.
4. Las aplicaciones de Ethephon en el Ingenio La Unión mostraron un incremento de 9.81 ton/ha de caña y 15.97 qq de azúcar/ha a favor de los lotes aplicados versus los no aplicados, en aplicaciones comerciales de ocho fincas. Las aplicaciones con ethephon en el Ingenio Magdalena, muestran una mejor respuesta en la zona baja en comparación con la zona media y las aplicaciones en Pantaleón y Magdalena muestran un mejor control de flor en los campos aplicados con ethephon que los testigos.

8. RECOMENDACIONES

1. Continuar las investigaciones con inhibidores de la floración correlacionandolas con las condiciones agro-climáticas predominantes para establecer periodos optimos de aplicación que aseguren la consistencia en los resultados.
2. Motivar a los investigadores de los ingenios, para que la red de monitoreo meteorológico de sus fincas, genere información que sea tabulada y analizada por CENGICAÑA y que esta entidad sea la encargada de diseñar curvas de correlación que permitan establecer el mejor momento para la aplicación.
3. Efectuar estudios con diferentes dosis de producto la cual tenga una relación con la cantidad de biomasa presente al momento de la aplicación.
4. Efectuar estudios en otras variedades floreadoras del país.

9. BIBLIOGRAFÍA

1. Amaya Esteves, A. 1986. Morfología de la caña de azúcar. *In* Congreso de caña de azúcar (1986, CO). El cultivo de la caña de azúcar: memorias. Ed. por Carlos Buenaventura. Cali, Colombia, TECNICAÑA. p. 25-44.
2. Archila, J; Villegas, F. 1995. Uso de madurantes. *In* CENICAÑA. El cultivo de la caña en la zona azucarera de Colombia. Cali, Colombia, CENICAÑA. p. 315-335.
3. Barneond Adrover, HR. 2002. Reseña histórica de las aplicaciones de madurante en el ingenio Tierra Buena, Nueva Concepción Escuintla, período 1994-1999. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 57 p.
4. Bidwell, RGS. 1987. Fisiología vegetal. México, AGT Editores. 135 p.
5. Bleecker, AB; Kende, H. 2000. Ethylene: a gaseous signal molecular in plant. *Annu. Rev. Cell. Dev. Biol.* 16:1-18.
6. Bocanegra, J. 1990. Acuerdo de convenio Rhone Poulenc con MINAZ sobre el desarrollo del ethrel en caña de azúcar. *Avances Agrícolas* 78(7):12-14.
7. Bocanegra, JC. 1983. Ethrel y prep. en el control de la fluoración en caña de azúcar. Guatemala, Rhone-Poulec Agroquímica. Desplegable.
8. Climaco Cassalet, D. *et al.* 1997. Estudios de floración para la obtención de variedades de caña de azúcar en el valle del Cauca. *In* Congreso de la Sociedad Colombiana de Técnicos de la Caña de azúcar (2, 1997, CO). Cali, Colombia, Tecnicaña. tomo 1.
9. Crach, I; Díaz, J; Morales, M; García, I; Marchante, V; Hernández, F; González, R. 1999. Enerplant: nuevo regulador orgánico para el desarrollo de la caña de azúcar en Cuba. Santiago, Cuba, Epica. Consultado 29 mar 2004. Disponible en <http://www.santiago.cu.epica/#principio>
10. Cronquist, A. 1981. An integrated system of classification of flowering plants. New York, US, Columbia University Press. 1262 p.
11. Cronquist, A. 1986. Introducción a la botánica. 2 ed. México, CECSA. 123 p.
12. Einsinguer, W. 1983. Ethylene and seed germination. *In* The plant hormone ethylene. AK Mattoo and JC Suttle (eds.). Florida, US, CRC Press. p. 133-157.
13. Ekklund, I; Little, CHA. 1996. Laterally apply ethrel causes local increases in radial growth and indole-3-acetic acid concentration in *Abies balsamea* shoots. *Tree. Physiology.* 16: 509-513.

14. Góngora Góngora, R. 1987. El empleo del ácido 2-cloroetilo fosfórico en la maduración de los frutos del tomate. Habana, Cuba, Centro de Información y Documentación Agropecuaria. 88 p.
15. Grichko, VP; Glick, BR. 2001. Ethylene and fooding stress in plants. *Plant Physiol. Biochem.* 39:1-9.
16. Ingenio Pantaleón, Departamento de Planificación y Control, GT. 1991. Visita de campo. Escuintla Guatemala, Empresa Pantaleón. 10 p.
17. _____. s.f. Descripción de variedades. Escuintla Guatemala. Empresa Pantaleón.
18. _____. s.f. Ethrel regulador de plantas: Ethephon. US, Unión Carbide. Desplegable.
19. _____. s.f. Informe de porcentaje y clasificación de variedades existentes en Pantaleón S.A., zafra 91-92. Escuintla, Guatemala, Empresa Pantaleón. 6 p.
20. Oworu, O; Mc-David, CR; Mc-Coll, D. 1977. The anatomy of the storage tissue in sugar cane stems and it relation to sugar transport. *Anat. J. Biol. Sci.* 18:959-969.
21. Page, DL. 1983. Ethephon: un fitoregulator de caña de azúcar de notable versatilidad. *Sugar y Azúcar* 78(7):1-12.
22. Rincones, C. 1992. Observaciones del efecto del ethephon en la floración y desarrollo de dos variedades de caña de azúcar. *FONAIAP-CENIAP* 10(1):37-45.
23. Sáenz Soto, JO. 2004. Experiencias en la optimización de la maduración inducida, en el cultivo de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) en Guatemala. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 61 p.
24. Viveros Valens, C. *et al.* 1990. Introducción y sincronización de la floración en variedades de caña de azúcar. *In* Congreso de la sociedad colombiana de técnicos de la caña de azúcar (3, 1990, CO); Congreso de la asociación de técnicos azucareros de América latina y el Caribe (1, 1990, CO). Memorias. Cali, Colombia, Tecnicaza. 72 p.
25. Zacarías, I. 1992. Etileno. *In* Fisiología y bioquímica vegetal. Bieto, JA (ed.). España, McGraw-Hill Interamericana. p. 343-356.