

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



**SISTEMATIZACIÓN DE EXPERIENCIAS EN EL USO DE  
DIFERENTES MADURANTES EN EL CULTIVO DE CAÑA DE  
AZÚCAR (*Saccharum officinarum* L.) EN GUATEMALA**

**Juan Francisco Hernández Rosales**

Guatemala, abril de 2009

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



**SISTEMATIZACIÓN DE EXPERIENCIAS EN EL USO DE DIFERENTES  
MADURANTES EN EL CULTIVO DE CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum  
officinarum* L.) EN GUATEMALA**

DOCUMENTO DE GRADUACIÓN

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

POR

**Juan Francisco Hernández Rosales**

EN EL ACTO DE INVESTIDURA COMO

INGENIERO AGRÓNOMO

EN EL GRADO ACADÉMICO DE

LICENCIADO

Guatemala, abril de 2009

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, abril de 2009.

Guatemala, abril de 2009

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 EXPERIENCIAS EN EL USO DE DIFERENTES  
MADURANTES EN EL CULTIVO DE CAÑA DE AZUCAR (*Saccharum  
officinarum* L.) EN GUATEMALA**

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,

**JUAN FRANCISCO HERNANDEZ ROSALES**

**Carné 57294**

Guatemala, abril de 2009.

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 JUAN FRANCISCO HERNANDEZ ROSALES, carnet 57294

Titulado

**SISTEMATIZACIÓN DE EXPERIENCIAS EN EL USO DE DIFERENTES  
MADURANTES EN EL CULTIVO DE CAÑA DE AZUCAR (*Saccharum  
officinarum* L.) EN GUATEMALA**

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, abril de 2009.

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 JUAN FRANCISCO HERNANDEZ ROSALES, carnet 57294

Titulado

**SISTEMATIZACIÓN DE EXPERIENCIAS EN EL USO DE DIFERENTES  
MADURANTES EN EL CULTIVO DE CAÑA DE AZUCAR (*Saccharum  
officinarum* L.) EN GUATEMALA**

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. Juan Herrera  
Colegiado No. 2469

## **ACTO QUE DEDICO**

A:

DIOS                   POR DARME LA FORTALEZA Y LA SABIDURIA PARA  
TERMINAR LA CARRERA

MIS PADRES        JULIO ERNESTO Y DILIA CONSUELO POR HABER  
CONFIADO Y CREIDO EN MI ETERNAMENTE  
AGRADECIDO, LOS SIGO QUERIENDO Q.E.P.D.

MI ESPOSA         POR SU APOYO INCONDICIONAL

MIS HIJAS         CLAUDIA, DILIA, NATALIA, DEVORA CON MUCHO  
CARIÑO

MIS HERMANOS    CRISTINA, ANA MARIA, RODOLFO, GRACIAS AL APOYO  
INCONDICIONAL

## **TESIS QUE DEDICO**

A:

MI PATRIA GUATEMALA

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS

FACULTAD DE AGRONOMIA

INSTITUTO PRACTICO MODERNO

MIS ASESORES



## Índice General

I. Introducción .....	1
II. Definición del problema .....	2
III. MARCO TEORICO .....	3
3.1 Marco conceptual.....	3
3.1.1 Historia de la caña de azúcar .....	3
3.1.2 Clasificación taxonómica del cultivo de la caña de azúcar .....	3
3.1.3 Fisiología de la maduración en la caña de azúcar .....	4
3.1.4 Procesos anatómicos y morfológicos.....	5
3.1.5 Factores que determinan la dosis del madurante y el volumen de aplicación.....	6
3.1.5.1 Factores naturales y agronómicos.....	6
3.1.5.2 Factores naturales .....	7
A. Precipitación pluvial .....	7
B. Temperatura.....	8
C. Luminosidad.....	8
3.1.5.3 Factores agronómicos .....	9
3.1.5.4 Variedad .....	10
3.1.5.5 Fertilización .....	11
3.1.5.6 Riego .....	12
3.1.6 Respuesta del madurante bajo condiciones de estrés hídrico .....	13
3.1.7 Estrés leve .....	15
3.1.8 Estrés moderado.....	16
3.1.9 Estrés severo .....	16
3.1.10 Aplicación de madurante bajo condiciones de excesiva humedad en el suelo .....	16
3.1.11 Estado de desarrollo vegetativo del cultivo.....	18
3.1.12 Maduración natural .....	18
3.1.13 La maduración inducida.....	19
3.1.14 Importancia en el uso de madurantes.....	21
3.1.15 Variables responsables del contenido de sacarosa en las cañas.....	22
3.1.16 Técnicas de aplicación de madurantes.....	23
3.1.16.1 Equipo de aplicación.....	23
3.1.16.2 Marcación de planos.....	25
3.1.16.3 Selección del producto, la dosis y el volumen de aplicación .....	26

3.1.16.4 Sal trimetilsulfonio de N-(fosfonometil) glicina (Touchdown Forte) .....	26
3.1.16.5 Aplicación del madurante .....	28
3.1.16.6 Secuencia para la aplicación de madurantes en caña de azúcar.....	29
3.2 Marco Referencial .....	31
3.2.1 Características de los madurantes.....	31
3.2.2 Sal isopropilamina de glifosato (Round-up sl).....	31
3.2.3 Sal monoamonio de glifosato (Round-up Max).....	32
3.2.4 Fluazifop-p-butil (Fusilade) .....	34
3.2.5 Bioestimulantes.....	35
3.2.6 Bioticón .....	35
3.2.7 Potasio foliar .....	36
IV. Objetivos .....	39
4.1 General .....	39
4.2 Específicos.....	39
V. Metodología .....	40
5.1 Diseño del experimento.....	40
5.1.1 Características de la unidad experimental y el área total.....	40
5.1.2 Material experimental.....	40
5.1.3 Manejo del cultivo: .....	40
5.1.4 Manejo del experimento.....	41
5.1.5 Tratamientos .....	41
5.1.6 Aplicación de tratamientos.....	42
5.1.7 Calibración del equipo de aplicación.....	42
5.1.8 Variable de respuesta .....	43
5.1.9 Análisis de la información .....	43
VI. Resultados .....	45
VII. Conclusiones .....	49
VIII.Recomendaciones .....	50
IX. Bibliografía.....	51

## Índice de cuadros

Cuadro 1. Dosis de madurante (reguladores de crecimiento) recomendada por cada 100 toneladas de caña <sup>a</sup> , según las condiciones meteorológicas esperadas durante el período comprendido entre la aplicación y la cosecha. ....	24
Cuadro 2. Condiciones técnicas y equipos utilizados para la aplicación aérea de madurantes en caña de azúcar. ....	25
Cuadro 3. Condiciones meteorológicas que se deben tener en cuenta en el momento de la aplicación de madurantes en caña de azúcar. ....	29
Cuadro 4. Resumen de la secuencia para aplicación de madurante de acuerdo a las actividades relevantes. ....	30
Cuadro 5. Secuencia de labores agronómicas del cultivo de caña de azúcar. ....	41
Cuadro 6. Calibración de equipo de aspersión con sus respectivas boquillas. ....	42
Cuadro 7. Resultados de aplicaciones de madurantes en caña de azúcar. ....	45
Cuadro 8. Análisis de varianza para el rendimiento. ....	46
Cuadro 9. Prueba múltiple de medias para la dosis de Touchdown Forte. ....	46

## Índice de Figuras

Figura 1. Zona de producción de caña de azúcar. ....	38
Figura 2. Rendimiento en libras de azúcar por tonelada de caña. ....	47

**SISTEMATIZACIÓN DE EXPERIENCIAS EN EL USO DE DIFERENTES  
MADURANTES EN EL CULTIVO DE CAÑA DE AZUCAR (*Saccharum  
officinarum* L.) EN GUATEMALA**

**SYSTEMATIZATION EXPERIENCES IN THE USE OF DIFFERENT  
MADURANTES IN THE CULTIVATION OF SUGARCANE (*Saccharum  
officinarum* L.) IN GUATEMALA**

**RESUMEN**

El uso de madurantes en el cultivo de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.), en Guatemala, se inició a finales de la década de los '80, tomó auge en los '90, y actualmente es una práctica muy importante y común, en todos los ingenios de la agroindustria azucarera guatemalteca, tanto así, que es uno de los factores principales, que ha incidido en el incremento en cuanto rendimiento de azúcar por tonelada de caña.

Las variedades floreadoras, 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 (reducción en los kilogramos de azúcar por hectárea).

Actualmente solo existen dos métodos para contrarrestar este fenómeno; varietal y uso de madurantes de acción herbicida.

La agroindustria azucarera a desarrollado un papel medular en la maduración inducida de la caña de azúcar, por lo cual se debe evaluar constantemente el uso más adecuado de esta técnica, que ha logrado que Guatemala figure entre los 5 países más productores y exportadores de azúcar a nivel mundial y se encuentra entre los 5 países más eficientes de producción de azúcar del mundo.

Los mejores rendimientos se presentaron con la utilización de Touchdown Forte, obteniendo un rendimiento promedio de 219.55 libras de azúcar por tonelada de caña, luego encontramos en orden de importancia Fusilade con un rendimiento promedio de 219.2 libras de azúcar por tonelada de caña, luego se tiene los resultados obtenidos con Roundup SI, con rendimientos promedios de 218 libras de azúcar por tonelada de caña molida. Es de mencionar que todos los productos evaluados superaron al testigo (cultivo sin aplicación), lo cual demuestra la importancia de esta técnica para el manejo eficiente en la producción de azúcar.

Cuando se realiza un análisis a partir de las fincas que en común fueron aplicadas, resalta que Roundup SI, fue el que mejores resultados presentó, por lo que al comparar los diferentes madurantes bajo condiciones similares, este producto dio muestras de ser consistente y superior en los rendimientos de libras de azúcar por toneladas de caña.

Se recomienda adoptar el uso de Glifosato (Roundup SI o Touchdown Forte), como madurante ya que demostró ser un producto capaz de incrementar la producción de libras de azúcar por tonelada de caña.

## I. Introducción

El uso de la sal trimetilsulfonio de N-(fosfometil) glicina (Touchdown), Fluazifop-p-butil (Fusilade), Sal monoamonio de glifosato (Roundup SI), Select 24ec, como madurantes en el cultivo de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.), en Guatemala, se inició a finales de la década de los '80, tomó auge en los '90, y actualmente es una práctica muy importante y común, en todos los ingenios de la agroindustria azucarera guatemalteca, tanto así, que es uno de los factores principales, que ha incidido en el incremento en cuanto rendimiento de azúcar por tonelada de caña.

El cultivo de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) , en la actualidad es uno de los cultivos mas 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

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 (Toneladas/ hectárea) y por ende una reducción en los kilogramos de azúcar por hectárea.

Actualmente solo existen dos métodos para contrarrestar este fenómeno uno es varietal y el otro utilizando inhibidores de floración o madurantes de acción herbicida.

## II. Definición del problema

La cosecha de caña de azúcar en Guatemala coincide con el fin de la época de invierno (noviembre), prolongándose hasta finales de marzo ó comienzos de abril. Esto provoca muchos problemas al inicio de esta actividad, pues se llevan a molienda cañas con concentraciones bajas de azúcar, debido a la humedad residual del suelo, lo que da como resultado la obtención de bajos rendimientos de libras de azúcar/tonelada de caña, para los meses de noviembre y diciembre. En enero la concentración de azúcar en el tallo empieza a ascender, a un ritmo lento, y alcanza su máxima expresión de forma natural de mediados de enero hasta los primeros días de febrero, posterior a estas fechas, el detrimento de las cañas es evidente, esencialmente por la formación de flor por parte de la mayoría de variedades. La composición varietal de la agroindustria azucarera guatemalteca, se estableció con materiales vegetales altamente floreadores, provenientes del extranjero, y seleccionados por sus altos rendimientos en tonelada de caña/hectárea, resistencia a ciertas enfermedades, y alta adaptabilidad a nuestras condiciones ambientales.

Para incrementar la concentración de azúcar en el tallo, se inicio el uso de madurantes (productos que incrementan la concentración de azúcar en el tallo), y las técnicas de aplicación de los mismos, se fueron perfeccionando, pasando por procesos de prueba y error, investigaciones, desarrollos de productos y técnicas, apoyo tecnológico nacional é internacional, todo ello tras la búsqueda del madurante idóneo. De la mano del desarrollo de técnicas de maduración inducida, la agroindustria azucarera también adoptó otras técnicas como nuevas variedades y pureza varietal, implementación de sistemas de riego, optimización de control de malezas, programas de fertilización y control de plagas, incremento del área cultivada, sin olvidar la creación de un centro de investigación y capacitación para la caña de azúcar.

Pero de todos los aspectos desarrollados, sin duda alguna el papel medular lo ha jugado la maduración inducida de la caña de azúcar, por lo cual se debe evaluar el uso mas adecuado de esta técnica que ha logrado que Guatemala figure entre los 5 países más productores y exportadores de azúcar a nivel mundial y se encuentra entre los 5 países más eficientes de producción de azúcar del mundo.

### III. MARCO TEORICO

#### 3.1 Marco conceptual

##### 3.1.1 Historia de la caña de azúcar

Se considera que la caña su origen es de las islas Polinesia, y no ha faltado quien afirme que es de América ya que se encontraba desde mucho antes de la llegada de Cristóbal Colón, por lo que se le atribuye haberla traído a éste continente, sin embargo existen pruebas evidentes de que en Guatemala existían cañas dulces, siendo cultivadas por los nativos que habitaron en las riberas de Ixcán y Lacantún (afluentes del Usumacinta), región localizada en Chiapas, norte de Huehuetenango, en el Quiche, y al sudeste de Petén; Otros opinan que su origen lo tuvo en la India, en la desembocadura del río Ganges, dando del nombre de Guara a la región y a la ciudad el nombre de Gur que quiere decir azúcar (17).

##### 3.1.2 Clasificación taxonómica del cultivo de la caña de azúcar

Según el sistema filogenético de clasificación desarrollado por Arthur Cronquist (6), la sistemática de la caña es la siguiente:

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



La caña de azúcar como cultivo se originó como *S. Officinarum*, posteriormente por trabajos de mejoramiento se han utilizado híbridos interespecíficos de *S. officinarum* como lo son *S. sinense*, *S. barberi*, *S. edulce*, *S. spontaneum*, *S. robusstum* (8).

### 3.1.3 Fisiología de la maduración en la caña de azúcar

La planta de caña de azúcar requiere de un descenso de la temperatura ambiental que haga mas amplio el rango entre la máxima temperatura diurna y la mínima nocturna, así como una reducción drástica de la humedad del suelo con el fin de reducir su ritmo de crecimiento e inducir la a transformar en sucrosa (o sacarosa) los azúcares reductores que utiliza para proveerse de energía necesaria para su crecimiento y desarrollo (22).

Por otro lado, el ciclo vegetativo de la caña de azúcar comprende tres etapas que, con ligera variante de acuerdo con la variedad, se definen así: la primera corresponde al desarrollo de las cepas que va desde la germinación o brotación hasta que el campo cierra (5 a 6 meses de edad) y que es la etapa de mayor requerimiento de agua, estando el contenido de humedad en la planta arriba del 85 %; la segunda comprende la etapa de formación de sacarosa y se extiende del final de la primera hasta el inicio de la maduración, período en que la humedad del tallo debe ser 78-80 %; la tercera etapa es la maduración propiamente, la que se inicia aproximadamente a los 9 meses de edad, necesitándose entre un 73 y un 75 % de humedad en la planta para obtener una buena maduración (22).

Fisiológicamente, la maduración es un proceso metabólico en el cual la planta cesa su tasa de crecimiento y desarrollo vegetativo y empieza a acumular energía en forma de sacarosa en los tejidos parenquimatosos del culmo o tallo aéreo (22).

### 3.1.4 Procesos anatómicos y morfológicos

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 ( 22).

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).

### **3.1.5 Factores que determinan la dosis del madurante y el volumen de aplicación**

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

A continuación se exponen las características del cultivo y las condiciones ambientales principales que se deben conocer para determinar la dosis y el volumen de aplicación de madurantes en caña de azúcar (7, 22, 23).

#### **3.1.5.1 Factores naturales y agronómicos**

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).

### **3.1.5.2 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, por ello deben analizarse separadamente cada uno de estos factores (22).

#### **A. Precipitación pluvial**

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

produce la maduración de los tallos ya que aumenta considerablemente su concentración de sacarosa (1, 7, 23).

## **B. Temperatura**

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

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).

## **C. Luminosidad**

La luz como principal fuente de energía para los cultivos, en este caso caña de azúcar, juega un papel importante en la producción y almacenamiento de sacarosa en las hojas y en los tallos, respectivamente. En la producción, porque siendo la caña de azúcar una planta fotosintéticamente C4, la hace, por un lado, muy eficiente en la absorción de energía lumínica en los cloroplastos, pero por el otro, también muy exigente en los niveles de energía radiante que deben estar alcanzándose en los tejidos foliares, para poder ser eficiente en la formación de biomasa que agrónomicamente se traduce en tonelaje de caña y finalmente azúcar (1, 7, 23).

### 3.1.5.3 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 (22).

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 (22).

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).

#### **3.1.5.4 Variedad**

Este es probablemente el factor prioritario a tomar en cuenta para el éxito de la práctica. Ciertas variedades simplemente no responderán al madurante, o lo harán solamente después de que cierto nivel de madurez ha sido alcanzado. En resumen, los madurantes no actuarán a menos que la variedad se encuentre fisiológicamente lista para iniciar su rápido proceso de acumulación de azúcar (22).

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. 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 (22).

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 (5).

La aplicación de un madurante del grupo reguladores de crecimiento ocasiona una condición de estrés en la planta y como consecuencia se disminuye la tasa de crecimiento de los tallos. Si lo anterior coincide con un estrés debido a un déficit severo de humedad entonces la producción de caña puede ser afectada en forma negativa. De acuerdo con lo anterior, cuando se prevé la presencia de un período seco entre la aplicación del madurante y la cosecha de la caña, la dosis establecida en función del estado de desarrollo del cultivo se debe disminuir entre 13% y 23% en relación con la dosis recomendada si ese período coincidiera con una época de lluvias (1, 3, 5, 22, 23).

### **3.1.5.5 Fertilización**

La mayoría de campos cultivados con caña de azúcar tienen niveles adecuados de fertilizante para maximizar la producción de fotosintatos, pero ha sido olvidado que, probablemente, lo más importante en la producción de azúcar por unidad de área, es obtener el máximo movimiento de azúcar fuera de cada hoja, y no tanto la producción total de fotosintatos.



El movimiento de azúcar fuera de cada hoja puede ser un tanto variable, siendo afectado por el monto de nitrógeno en la planta. Este movimiento de azúcar fuera de las hojas es el factor más grande, y prácticamente único, que determina el total de azúcar por unidad de área. Por ello, muchos autores consideran que la fertilización, principalmente nitrogenada, debe reducirse severamente al final del período vegetativo si se pretende una buena conversión de azúcares reductores en sacarosa (1, 3, 22, 23).

#### **3.1.5.6 Riego**

Las características del suelo influyen directamente en el desarrollo del cultivo y en la condición de retención de humedad, por tanto, afectan indirectamente la dosis de madurante que se debe aplicar. Las plantas que crecen en suelos con baja capacidad de retención de agua son sometidas frecuentemente a estrés hídrico, lo cual afecta su desarrollo. Si adicionalmente ocurre una época seca entre la aplicación del madurante y la cosecha de la caña, la dosis aplicada se debe reducir como se mencionó anteriormente. En términos generales, los cultivos que crecen en suelos de baja fertilidad con limitaciones en sus condiciones físicas o con baja capacidad de retención de humedad deben recibir una dosis menor de madurante, en comparación con cultivos en suelos sin este tipo de problemas. Cada variedad debe ser sembrada en un período adecuado de tiempo para poder ser cosechada en el momento que de acuerdo a su patrón de maduración (máxima concentración de sacarosa) se encuentre en su estado óptimo (19, 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 80 % del área sembrada con caña lo constituyen variedades floreadotas 19, 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 (19, 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).

### **3.1.6 Respuesta del madurante bajo condiciones de estrés hídrico**

El agua puede limitar el crecimiento y desarrollo, y con ello la productividad de un cultivo en cualquier sitio, ya sea por períodos secos inesperados o por lluvia normalmente baja que hace

necesario el uso del riego. Cuando se retiene el agua a una planta que crece en un volumen de suelo bastante grande, sucede una secuencia de fenómenos que se desarrolla de una manera más bien gradual. Es importante comprender que, más que el estrés hídrico en sí, los fenómenos finales, casi sin duda, son respuestas indirectas a uno o más de los primeros (15,17,18).

Entre los procesos vegetales mas 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 (15,17,18).

Como resultante de ello, tenemos que durante el 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. 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).

### 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 mas 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. 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 (15,17,18).

#### **3.1.7 Estrés leve**

Cuando las reducciones en el tonelaje no van mas allá del 10 % del estimado o esperado en un lote en particular, y el suelo generalmente es de textura franca a franco-arcillosa, es decir, con buena capacidad de retención de humedad. Aplicar madurante (15,17,18).

### **3.1.8 Estrés moderado**

Cuando el tonelaje se ve mermado en un 10 a 20 % del estimado o esperado, y la textura del suelo es mediana, es decir franca o franco-arenosa, pero con una regular capacidad de retención de humedad. Aplicar madurante (15,17,18).

### **3.1.9 Estrés severo**

Cuando hay una reducción del tonelaje más allá del 20 % del estimado, y el suelo es muy liviano, es decir de textura arenosa con muy baja o ninguna capacidad de retención de humedad. No aplicar madurante (15,17,18).

### **3.1.10 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, mas bien de adaptación de la planta, se incita la formación de un sistema radicular adventicio a partir de los entrenudos inferiores mas 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 (15,17,18).

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, necesitándose 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 (15,17,18).

Finalmente, en una condición estresante de escasez de humedad en el suelo, es necesario tener presente que aún la mas 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 toxicidad 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 (15,17,18).

### **3.1.11 Estado de desarrollo vegetativo del cultivo**

De acuerdo con el desarrollo vegetativo del cultivo se estima la producción de caña antes de la aplicación y con base en ella se calcula la dosis del madurante. La dosis aplicada, especialmente cuando se usan reguladores de crecimiento, debe ser proporcional al estado de desarrollo del cultivo, es decir, menor en cultivos con pobre desarrollo y mayor en cultivos con buen desarrollo vegetativo. Por ejemplo, puede ocurrir el caso de la aplicación de madurante a un cultivo de 11 meses de edad que por condiciones adversas de suelo, clima o manejo presenta un desarrollo vegetativo equivalente al de un cultivo de 8 meses de edad que ha crecido en condiciones favorables. En este caso, si no se reduce la dosis de madurante se incrementan las probabilidades de afectar la producción de caña al momento de la cosecha y el rebrote de la soca (1, 3, 22, 23).

### **3.1.12 Maduración natural**

Las condiciones en las que madura este cultivo son muy variables independientemente de las prácticas que se utilicen para obtener altos contenidos de sacarosa. El contenido de sacarosa en los tallos depende en buena parte de las condiciones climáticas durante las últimas semanas del período de cultivo, especialmente de la precipitación (1, 3, 22, 23).

Para mantener niveles de rendimiento satisfactorios se recomienda:

- Utilizar variedades de caña con alto potencial de acumulación de sacarosa en condiciones naturales y cosecharlas en el momento óptimo de maduración.
- Hacer las aplicaciones de riego teniendo en cuenta el balance hídrico en el suelo.
- Suprimir los riegos después de los diez meses de edad del cultivo para favorecer el agostamiento natural.
- Asegurar un adecuado balance de la fertilidad en el suelo que contribuya a incrementar o por lo menos sostener el contenido de sacarosa: aplicar cantidades adecuadas de nitrógeno y potasio de acuerdo con los resultados del análisis de suelo; evitar las aplicaciones tardías de nitrógeno.
- Cosechar la caña con el menor contenido posible de materia extraña y reducir a menos de 24 horas los tiempos de permanencia entre corte y molienda para mantener así la sacarosa producida en el campo y evitar pérdidas en los procesos de fábrica.
- Es posible obtener niveles altos de sacarosa mediante la selección de variedades apropiadas y prácticas culturales adecuadas (1, 3, 22, 23).

### **3.1.13 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 (4, 9).

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 (4, 9).

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 (4, 9).

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 etefon, comercializado por Union 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 constituidos por el fluazifop, comercializado por la Imperial Chemical Industries como Fusilade, y el setoxydim registrado con el nombre de Poast por BASF (4, 9).

El uso comercial de madurantes en Guatemala principia alrededor del año 1989, y como se mencionara anteriormente la práctica se ha incrementado considerablemente, al grado que en la actualidad se le aplica madurante a aproximadamente el 60 % del área cultivada con caña

(110,000 ha de un total de 180,000). Entre el 85 y el 90 % del área aplicada con madurante lo constituye glifosato, nombre comercial Round-up y Roundup Max, estando el restante porcentaje integrado por Fluazifop, nombre comercial Fusilade, y en menor escala etefón o Ethrel y otros (4, 9).

### **3.1.14 Importancia en el uso de madurantes**

La región azucarera de Guatemala presenta óptimas condiciones para la producción de caña de azúcar. Sin embargo, en algunos casos esas mismas condiciones no permiten el almacenamiento de sacarosa en los tallos en las cantidades necesarias para conseguir una producción de azúcar alta.

La maduración de la caña de azúcar puede ser considerada desde tres puntos de vista, botánico, fisiológico y económico; desde el punto de vista botánico hay que considerar que la caña de azúcar está madura después de la emisión de flores y formación de semillas que puedan dar origen a nuevas plantas. Teniendo en cuenta la reproducción vegetativa, que es la usada en la práctica, la maduración puede ser considerada en un ciclo mucho más corto, cuando las yemas ya están en condición de dar origen a nuevas plantas; desde el punto de vista fisiológico, está se alcanza cuando los tallos logran su potencial de almacenamiento de sacarosa, se alcanzar la maduración botánica totalmente antes de alcanzar la fisiológica por lo que las semillas pueden ya estar cayendo de la flor y la acumulación de sacarosa continua por lo general por un período de uno a dos meses y desde el punto de vista económicamente se considera madura, a partir del momento en que presenta un contenido mínimo de sacarosa, con un pol por encima del 13% con base en el peso de la caña; El enfoque de los productos madurantes que actúan como reguladores de crecimiento y como consecuencia de este efecto primario se incrementa el

contenido de sacarosa en los tallos. Es posible que algunos actúen también sobre las enzimas que catalizan la acumulación de sacarosa. En los últimos años se ha evaluado la acción madurante de nuevos productos denominados bioestimulantes y, aunque los resultados de su aplicación no son iguales a los obtenidos con los reguladores de crecimiento, algunos bioestimulantes han mostrado buena respuesta (4, 9).

### **3.1.15 Variables responsables del contenido de sacarosa en las cañas**

Las variables más importantes para determinan el contenido de sacarosa, en el cultivo de caña de azúcar son:

- Brix: Es el porcentaje en peso de los sólidos contenidos en una solución sacarosa pura, o la representación de los sólidos aparentes en una solución de azúcar
- Pol : Es un valor de referencia que indica la cantidad de sacarosa presente en una solución. El pol es una medida lineal del contenido de sacarosa de una solución que es igual a la lectura polarimétrica corregida.
- Azúcares Reductores: Es suma de fructosa y glucosa presentes en el jugo de la caña
- Peso Torta: Se refiere al peso del residuo que queda después de pasar caña picada por la prensa hidráulica.
- Acidez: Se refiere a la cantidad de ácido libre en el jugo, es decir cuantifica la acidez en el jugo de caña.
- pH: Es la concentración de iones hidronio en una solución
- Dextranas: Son polímeros de glucosa producidos por microorganismos que contaminan la caña de azúcar.

- Sacarosa: Es un disacárido que por hidrólisis produce glucosa y fructuosa, llamada también azúcar de caña.
- Glucosa: Es un azúcar monómero perteneciente al grupo aldehído.
- Fructuosa : Es un azúcar monómero perteneciente al grupo cetónico.
- Pureza (HPLC) : Son los sólidos disueltos de sacarosa en el jugo , en un 100%, consiste en la determinación de sacarosa por medio de cromatografía líquida de alta presión.
- Rendimiento: Es la cantidad de azúcar que se extrae de una tonelada corta de caña en libras, sin tomar en cuenta su composición (20, 21, 24, 25)

### **3.1.16 Técnicas de aplicación de madurantes**

#### **3.1.16.1 Equipo de aplicación**

El volumen de aplicación depende en buena parte del equipo por utilizar en la aspersion del madurante. En aplicaciones aéreas el volumen tiende a ser bajo con el fin de cubrir una mayor área por vuelo. Cuando se utiliza helicóptero el volumen de aplicación es de 15 lt/ha aproximadamente; aunque este equipo puede ser calibrado para aplicar volúmenes menores no es aconsejable hacerlo porque la turbulencia generada por las aspas móviles puede incrementar la deriva o dispersión del madurante por el viento (23, 26).

El tipo de madurante puede también determinar el volumen de aplicación. Así, los reguladores de crecimiento generalmente son productos sistémicos que se pueden aplicar en volúmenes bajos o muy bajos sin que esto afecte su acción madurante; pero los bioestimulantes, que generalmente son fertilizantes foliares, posiblemente requieren volúmenes altos de aplicación para lograr un mayor cubrimiento del follaje (23, 26).

En el cuadro 1, se presenta una guía para seleccionar las dosis de madurantes del grupo de los reguladores de crecimiento basada en las investigaciones de CENICAÑA y en las observaciones de los ingenios de Colombia.

Cuadro 1. Dosis de madurante (reguladores de crecimiento) recomendada por cada 100 toneladas de caña <sup>a</sup>, según las condiciones meteorológicas esperadas durante el período comprendido entre la aplicación y la cosecha.

Variedad	Sal isopropilamina de glifosato (lt/ha) <sup>b</sup>		Sal monoamonio de glifosato (kg/ha) <sup>d</sup>		Fluazifop-p-butil (lt/ha) <sup>e</sup>	
	Época seca <sup>c</sup>	Época lluviosa	Época seca <sup>c</sup>	Época lluviosa	Época seca <sup>c</sup>	Época lluviosa
CC 85-92	0.7	0.9	0.30	0.38	0.4	0.5
CC 84-75	0.8	1.0	0.34	0.42	0.5	0.6
CC 85-68	1.0	1.3	0.42	0.55	0.6	0.7
PR 61-632	1.3	1.6	0.55	0.68	0.7	0.8

Fuente: CENICAÑA (22).

#### Referencias

- a. Producción estimada de caña al momento de hacer la aplicación.
- b. Dosis de producto comercial con 480 g de i.a./lt
- c. Condiciones meteorológicas esperadas entre la aplicación y la cosecha.
- d. Dosis de producto comercial con 747 g de i.a./kg
- e. Dosis de producto comercial con 125 g de i.a./lt

La aplicación de madurantes se realiza por excelencia por vía aérea utilizando aeronaves de ala móvil como helicópteros o de ala fija como avionetas y aviones livianos, provistas de equipos de aspersión. Los equipos de aspersión pueden ser boquillas de cono hueco utilizadas en

helicópteros, aspersores rotatorios (“micronairs”) utilizados en avionetas, o boquillas rotativas utilizadas en aviones livianos. Las condiciones técnicas de uso de cada equipo se presentan en el cuadro 2. Las aeronaves deben estar equipadas con un sistema de posicionamiento global (GPS) que les permita hacer aplicaciones sin necesidad de bandereo móvil. En el área de cultivo donde se realizará la aplicación se debe disponer de medidores de temperatura, humedad relativa (higrómetro), velocidad y dirección del viento (anemómetro y veleta) (23, 26).

Cuadro 2. Condiciones técnicas y equipos utilizados para la aplicación aérea de madurantes en caña de azúcar.

Condiciones técnicas	Unidades	Tipo de aeronave		
		Helicóptero	Avioneta	Avión liviano
Altura de vuelo sobre el cultivo	m	2 - 3	2 - 3	2 - 3
Ancho de faja	m	16 - 18	18 - 22	16 - 18
Velocidad de vuelo	millas/h	55 - 60	90 - 100	55 - 60
Tipo de aspersor		Cono hueco	Aspersor rotatorio	Boquilla rotativa
Presión de aplicación	psi	25 - 35	30 - 10	10 - 20
Tamaño de gotas	micras	300 - 400	250 - 300	250 - 300
Gotas	no./cm <sup>2</sup>	15 - 30	15 - 30	15 - 30
Volumen de aplicación	lt/ha	10 - 20	5 - 20	5

FUENTE: Grupo de manejo de madurantes CENICAÑA - Industria azucarera. COLOMBIA (24, 25).

### 3.1.16.2 Marcación de planos

Los vuelos sobre cada finca deben ser programados en planos a escala, donde se indica la ubicación de las banderolas, los lotes vecinos y caseríos, la dirección del vuelo, los obstáculos, las franjas de protección y las áreas netas de aplicación. Esta información se entrega al piloto quien la debe constatar mediante un vuelo de reconocimiento antes de iniciar la aplicación. Con la marcación de los planos se persigue minimizar los riesgos por deriva y maximizar la eficiencia

operativa de la aeronave. Por ejemplo, si se hace coincidir la dirección del vuelo con la mayor longitud del lote se reduce el número de virajes de la aeronave; no obstante, si esa dirección implica hacer virajes sobre lotes vecinos de cultivos susceptibles al madurante se debe cambiar la dirección aunque se reduzca la eficiencia operativa de la aeronave (19, 20, 21).

### **3.1.16.3 Selección del producto, la dosis y el volumen de aplicación**

La aplicación del madurante tiene el propósito de obtener el mayor beneficio en el incremento de sacarosa sin detrimento de la producción de caña. Para la selección del producto, la dosis y el volumen de aplicación se deben tener en cuenta la ubicación del lote, los cultivos vecinos, la variedad de caña, el tipo de suelo, el estado de la plantación y la producción estimada, la época entre aplicación y corte, la edad de la plantación y el equipo de aplicación. Cuando no se conoce la respuesta de la variedad de caña a los madurantes se puede tomar como base la información disponible de otras variedades con características similares de desarrollo y producción para seleccionar el producto y la dosis por aplicar (19, 20, 21).

### **3.1.16.4 Sal trimetilsulfonio de N-(fosfometil) glicina (Touchdown Forte)**

Este producto puede ser absorbido por las arcillas y materia orgánica, pudiendo inactivarse y degradarse por los microorganismos del suelo. Los productos finales de la degradación son dióxido de carbono y otros compuestos orgánicos. Es un líquido con baja volatilidad, la sustancia es soluble al agua, tiene un bajo potencial y bioacumulación y no tiene movilidad en el suelo. Existe evidencia de degradación en el suelo y no hay evidencia de hidrólisis en el agua, pero si de

foto degradación en el agua. La franja de color según la EPA, es amarillo lo que caracteriza como ligeramente tóxico. La toxicidad para peces es alta en CL 50 a 96 horas en truchas arco iris en 1800 Mg. / l, lo que representa una baja toxicidad, para *dafnia* es CE50 a 48 horas es de 21 Mg. /l. esta evaluación ecológica esta calculada a partir de la información disponible de los componentes de la formulación. La toxicidad aguda (dosis letal) es la siguiente LD50 oral ratas macho, 748 Mg. /Kg.; LD50 oral ratas hembra 755 Mg. /Kg. nocivo por ingestión. LD50 Cutánea conejo 2000 Mg. /Kg. concentración letal media, inhalación rata , 6.2 Mg. /l, durante horas (dosis limite sin fallecimiento) es probable que sea peligroso por inhalación debido a la baja tensión de vapor de material a temperatura ambiente. La toxicidad aguda (irritación, sensibilización, etc.) es la siguiente: irritación de los ojos, algo irritable a los ojos del conejo, irritación de la piel del conejo, no es sensibilizante de la piel en ensayos animales. La toxicidad subaguda y crónica en exposición a corto plazo han mostrado que es improbable que exista un riesgo carcinogénico para los seres humanos. Un estudio en animales ha mostrado que dosis repetidas no producen efectos teratógenos. NOEL: 100 Mg. / Kg./ día rata (1).

La molécula es un herbicida no selectivo de acción sistemática, utilizado en aplicaciones post- emergentes, su nombre comercial es TOUCHDOWN, nombre común glifosato trimesium (sulfosato) tipo o familia fosfónico, formulación líquido soluble (SL) concentración 480 g ia / l, peso molecular 245.23 aspecto líquido, color marrón, punto de inflamación 105 C, pH 3.8 – 5.0, estabilidad en condiciones normales por mas de dos años y es miscible.



La Sal trimetilsulfonio de N-(fosfometil) glicina es absorbida por la planta a través de los tejidos tiernos jóvenes poco lignificados, como hojas y tallos verdes. La absorción ocurre por difusión, la cual se optimiza cuando las condiciones ambientales son favorables como por ejemplo, alta humedad relativa y buena humedad en el suelo. El ingrediente activo es transportado vía floema y xilema hacia los puntos de mayor crecimiento.

Se acumula en los meristemos tanto de la partes aéreas como también en raíces, rizomas, tubérculos o estolones. Este movimiento es rápido hacia dichos meristemos en los que se observan los primeros síntomas de acción del producto.

Sal trimetilsulfonio de N-(fosfometil) glicina puede ser absorbida por las arcillas y material orgánica pudiendo inactivarse y degradarse por microorganismos del suelo.

Mediante la combinación de la actividad de los componentes de la molécula: N-fosfometilglicina y el trimitilsulfonio, actúa sobre diversos procesos metabólicos para proporcionar un control de malezas que se acentúa en un resultado efectivo y consistente, inhibe la producción de aminoácidos esenciales como Tirosina, Fenilalanina y Triptofano, necesario en el proceso respiratorio y del crecimiento (1).

### **3.1.16.5 Aplicación del madurante**

Las condiciones meteorológicas durante el día de la aplicación determinan finalmente el plan de trabajo. De acuerdo con ellas se hacen los ajustes necesarios; por ejemplo, la suspensión de aplicaciones en el momento de lluvias o cuando se prevea que éstas ocurrirán poco tiempo después, o cuando las condiciones atmosféricas excedan los límites permitidos (Cuadro 3). Si las condiciones meteorológicas son adecuadas para realizar la aplicación, el piloto dirige la aeronave hacia la hacienda y las partes seleccionadas e inicia la aplicación utilizando como guía las

banderas fijas que señalan los límites del área y el GPS como un sistema adecuado para efectuar las pasadas (20).

Para alcanzar una mejor acción del producto, la aplicación debe ser hecha cuando el cultivo se encuentre en buen estado de desarrollo y libre de estrés por déficit o exceso de humedad en el suelo. Para evitar los daños en cultivos vecinos por deriva del madurante es necesario respetar estrictamente las normas para la aplicación, tener en cuenta las áreas incluidas en los mapas de riesgo y, en ocasiones, extremar las medidas de seguridad dejando pantes sin aplicación (19, 20, 21).

Cuadro 3. Condiciones meteorológicas que se deben tener en cuenta en el momento de la aplicación de madurantes en caña de azúcar.

Condición	Valor o indicador	Equipo de medición o registro
Humedad relativa	> 60%	Higrómetro
Temperatura máxima	< 28 °C	Termógrafo o termómetro
Velocidad del viento	< 7 km/h (1.94 m/seg)	Anemógrafo o anemómetro
Dirección del viento	Que no afecte cultivos vecinos	Veleta

Fuente: Ventura (20).

Cuando se comprueba el daño en cultivos vecinos al lote tratado, la responsabilidad es de quien haya hecho la aspersión aérea, es decir, del ingenio si ha aplicado con equipos propios, o del proveedor de servicios de aplicación aérea si fue contratado para esa labor (19, 20, 21).

### 3.1.16.6 Secuencia para la aplicación de madurantes en caña de azúcar

Toda la secuencia se detalla en el cuadro 4, en el cual se resaltan las labores culturales más importantes, siendo una información valiosa para todo el personal que se dedica a la aplicación de madurantes.

Cuadro 4. Resumen de la secuencia para aplicación de madurante de acuerdo a las actividades relevantes.

Actividad	Detalle
Programación de las aplicaciones	Pantes con más de 9 meses de edad y en función de la edad de cosecha programada.
Aprobación del programa de aplicaciones	Los gerentes de campo y de cosecha
Visitas al campo	Comprobar estado del cultivo, estimar producción, identificar cultivos vecinos y obstáculos para la aeronave, informar a los vecinos sobre la aplicación y verificar los mapas de riesgo.
Marcación de planos	Señalar en el plano la dirección del vuelo, la presencia de obstáculos, las franjas de protección y ubicación de las banderas fijas.
Selección del producto, la dosis y el volumen de aplicación	Elección de producto, dosis y volumen de mezcla para cada lote de acuerdo con variedad, producción, características del suelo, porcentaje del cultivo volcado, cultivos vecinos y condiciones climáticas.
Selección del equipo de aplicación	De acuerdo con rendimiento (ha/h); capacidad del tanque, GPS; costos, equipo de aspersión y pólizas de responsabilidad.
Programación de los vuelos	De acuerdo a planillas de programación.
Informe a los propietarios o administradores	Información al propietario del cultivo la fecha programada para la aplicación.
Delimitación de las áreas por aplicar	Identifican franjas de seguridad mediante la colocación de banderas blancas en los límites de las áreas por aplicar (bandereo fijo).
Distribución de los productos y el personal	Garantiza el transporte de productos y agua a los sitios de aprovisionamiento, así como el del personal
Vuelo de reconocimiento	Para verificar: localización de lotes; estado del cultivo; presencia de cultivos vecinos; presencia de obstáculos.
Preparación de la mezcla	Utilizar agua de buena calidad para las mezclas y seguir las normas de manejo de empaques y recipientes.
13. Aprovisionamiento de la aeronave	Cargar en el tanque de la aeronave la mezcla por aplicar, tarea que se realiza con el motor de la aeronave apagado.
14. Revisión de las boquillas	Verificar el funcionamiento de las boquillas. registrar todo en libreta
15. Aplicación del madurante	Verificar que se den las condiciones meteorológicas para el éxito de la aplicación: humedad relativa >60%; temperatura <28 °C; velocidad del viento <7 km/h; dirección del viento en sentido contrario a los cultivos vecinos.
16. Labores posteriores a la aplicación	Recogen los residuos líquidos de las mezclas, banderas fijas y lavar completamente.
17. Visitas posteriores a la aplicación	Inspecciona los campos que recibieron la aplicación y las áreas vecinas, y comprueba y registra posibles daños.

Fuente: Ventura (20).

## **3.2 Marco Referencial**

### **3.2.1 Características de los madurantes**

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

### **3.2.2 Sal isopropilamina de glifosato (Round-up sl)**

Es un producto sistémico que se utiliza en caña de azúcar para favorecer el incremento del contenido de sacarosa. El nombre químico del ingrediente activo es N-(fosfometil) glicina. La formulación del producto es una sal (sal isopropilamina de glifosato) en concentración de 480 g/lit de producto comercial.

El modo de acción de esta sal se caracteriza porque el ingrediente activo penetra en el follaje y se desplaza junto con los productos de la fotosíntesis tanto en el xilema (apoplasto) como en el floema (simplasto) para acumularse en los meristemos, principalmente en la yema terminal. Se considera que el glifosato inhibe la acción de las enzimas mutasa corísmica y dehidratasa prefénica, las cuales intervienen en la síntesis del ácido corísmico el cual, a su vez, es el precursor de los aminoácidos triptofano, tirocina y fenilalanina que son exclusivos o que solamente sintetizan las plantas (Monsanto, sf.). La inhibición de la síntesis de estos tres aminoácidos, entre otros que solamente sintetizan las plantas, es la base de la baja toxicidad de esta sal para los animales.

En la caña de azúcar se ha demostrado que este producto también reduce los niveles de la invertasa ácida, una enzima necesaria para desdoblar la sacarosa en glucosa y fructosa que son utilizadas directamente para el crecimiento de la planta. Como resultado de lo anterior, el

desdoblamiento de la sacarosa que se utiliza para crecimiento es menor y su almacenamiento en las células es mayor, principalmente en las del tercio superior del tallo. Los síntomas externos en la planta aparecen lentamente, y entre una y dos semanas después de la aplicación se observa un leve amarillamiento del follaje que progresa hasta estabilizarse en la quinta o sexta semana. En este período se produce un hinchamiento de las yemas en los nudos de la parte superior de los tallos.

La planta absorbe el producto en las seis horas siguientes a la aplicación, de forma que el lavado por lluvias durante este tiempo puede reducir la efectividad del tratamiento. Es importante señalar que este producto es totalmente biodegradable (Franz *et al.*, 1997) y no deja residuos en el suelo que puedan afectar el desarrollo de los cultivos siguientes, debido a que la molécula del ingrediente activo reacciona químicamente con las arcillas y se adhiere fuertemente a ellas. Esta reacción de descomposición por microorganismos ocurre en cuanto los residuos llegan al suelo y en un término de 60 a 90 días se transforman en productos naturales como dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), nitrógeno (N), fósforo (P) y agua (H<sub>2</sub>O) (15).

### **3.2.3 Sal monoamonio de glifosato (Round-up Max)**

Es un producto sistémico cuyo ingrediente activo es la sal monoamonio de N-(fosfonometil) glicina en una concentración de 747 g/kg del producto comercial. La presentación es en gránulos secos altamente solubles en agua que facilitan la aplicación. El mecanismo de acción y el comportamiento del ingrediente activo dentro de la planta y en el suelo son similares a los de la sal isopropilamina de glifosato. Aparentemente penetra en mayor volumen y rápidamente en la planta, lo que permite dosificar una menor cantidad por unidad de área en comparación con la sal isopropilamina de glifosato (15).

Es conocido que las plantas superiores sintetizan todos sus aminoácidos, existiendo por lo tanto muchas posibilidades donde los herbicidas pueden actuar. En la actualidad se han descubierto varios herbicidas que inhiben la producción de aminoácidos, lo que eventualmente resulta en el agotamiento de éstos causando un cese en los procesos que dependen de ellos.

El glifosato, cuando se utiliza como herbicida, morfológicamente muestra una sintomatología que hace que las hojas tomen un color amarillento, tornándose luego necróticas y en dos semanas la planta muere. La acción del glifosato consiste en bloquear la producción de aminoácidos aromáticos inhibiendo la vía biosintética del shiquimato la que realiza al inactivar la enzima 5-enolpiruvil shikimato-3-fosfato sintetasa que es la responsable de unir el shiquimato-3-fostato y el fosfoenol piruvato. Al privar a las células, principalmente meristémicas, de los tres aminoácidos aromáticos, fenilalanina, tirosina y triptofano, cesa entonces la producción de proteínas estructurales y enzimáticas conduciendo a la detención del desarrollo celular y con ello el crecimiento de la planta y la muerte de las hojas con células fotosintéticamente activas. Este proceso de fitotoxicidad es ayudado por la carencia en la célula de otros compuestos como ligninas, alcaloides y ácidos benzoicos que también se producen por la vía del shiquimato que resulta inhibida por la acción del glifosato.

La producción de proteínas en el vegetal es un proceso lento, por lo que la reducción o carencia total de éstas se manifiesta cierto tiempo después de que el producto herbicida ha sido absorbido y transportado al sitio de acción. La acción lenta del herbicida se debe a que biológicamente, las células siempre tienen disponibilidad de aminoácidos y proteínas por lo que sus procesos biológicos continúan aún bajo la acción del herbicida y es hasta que hay suficiente carencia de aminoácidos que empiezan a manifestarse los síntomas de toxicidad.

Ahora bien al utilizarse como madurante, lo que se logra mediante el manejo de la dosis aplicada, el herbicida se transforma en un regulador del crecimiento vegetal ya que “la subdosis”

usada solamente priva parcialmente de la enzima a la vía biosintética del shiquimato, traduciéndose ello en una reducción de la tasa de crecimiento, pero no en la muerte de las zonas meristemáticas, por lo que el crecimiento continua a un menor ritmo que el normal. Esto se refleja en la ya discutida acumulación de sacarosa, principalmente en los tallos de la caña de azúcar. El efecto madurante del glifosato también se complementa por la acción inhibitoria que ejerce sobre la invertasa ácida, enzima que en los tejidos jóvenes y zonas meristemáticas es la responsable de la degradación de la sacarosa en glucosa y fructosa, substratos indispensables para el inicio de la respiración celular en los mitocondrias, la que finaliza con la producción de la energía biológica, ATP, fuente energética para los distintos eventos biológicos.

En resumen, el modo de acción del glifosato se explica mediante dos fenómenos:

- A) La acción inhibitoria sobre la enzima 5-enolpiruvil shiquimato-3-fosfato sintetasa, bloqueando así la vía biosintética del shiquimato.
- B) La inhibición de la invertasa ácida deteniendo así la degradación de la sacarosa que de esta manera se acumula en los tallos.

### **3.2.4 Fluazifop-p-butil (Fusilade)**

El nombre común de este ingrediente activo (i.a.) es butil (R)-2-[4-{{(5-(trifluorometil)-2-piridinil)oxi}fenoxi]propanoato. La concentración es de 125 g de i.a./lt de formulación. Los ingredientes aditivos corresponden a emulsificantes iónicos y no-iónicos y solventes orgánicos. Es un producto sistémico con presentación comercial en forma de concentrado emulsionable altamente selectivo para gramíneas. Actúa como inhibidor de los fosfolípidos y de la síntesis de los ácidos grasos que son componentes de la membrana celular. Es absorbido rápidamente a través de la superficie de las hojas y transportado por el xilema y el floema para acumularse en los

meristemas apicales, los rizomas y los estolones de las gramíneas. Inhibe el crecimiento de la planta, los nudos y ápices se tornan necróticos y las hojas jóvenes presentan clorosis y cambios de pigmentación similares a los que se producen por senescencia. Actúa sobre la síntesis de la acetil-coenzima A (carboxilasa), por lo que los síntomas se manifiestan sobre los puntos de crecimiento. No ocasiona daños en la raíz y sólo actúa sobre puntos meristemáticos. Restringe el crecimiento de los tallos y se presenta crecimiento de brotes laterales y un anillo necrótico en la parte superior del tallo. No actúa sobre cultivos de hoja ancha ni ciperáceas.

Este producto se degrada rápidamente y después de una semana no aparecen residuos tóxicos en el suelo. La residualidad es ligeramente superior en suelos livianos y arenosos. La ocurrencia de lluvias una hora después de haber efectuado la aplicación del producto no afecta su actividad. Es de toxicidad baja (grado IV) para los hombres, los animales, la microflora y la microfauna en el suelo (13).

### **3.2.5 Bioestimulantes**

Los bioestimulantes son fertilizantes líquidos que ejercen funciones fisiológicas cuando son aplicados a los cultivos. Entre ellos se destacan las formulaciones a partir de aminoácidos, algunos macro y micro elementos, y las fitohormonas.

### **3.2.6 Bioticón**

Es una mezcla de aminoácidos, ácido giberélico y potasio que cuando se aplica solo actúa como estimulante de la maduración de la caña de azúcar debido a la acción de cada uno de sus componentes.

También es utilizado en mezcla con las sales isopropilamina y monoamonio de glifosato con el fin de minimizar los efectos de éstas en la desaceleración del crecimiento de los tallos.



### 3.2.7 Potasio foliar

Teniendo en cuenta las funciones del potasio en la planta, especialmente en los procesos de síntesis, desplazamiento y almacenamiento de azúcares, algunos ingenios aplican potasio al follaje de la caña entre ocho y nueve meses de edad del cultivo. Como fuentes se pueden utilizar nitrato de potasio ( $KNO_3$ ), sulfato de potasio ( $K_2SO_4$ ) o fosfato de potasio ( $K_3PO_4$ ) en presentación líquida. Los mejores resultados se han obtenido con una presentación comercial que incluye (en peso) 50% de potasio soluble en la forma de  $K_2O$  y 20% de fósforo asimilable ( $P_2O_5$ ), además de magnesio (600 ppm), azufre (800 ppm), boro (100 ppm) y fitohormonas (12 ppm). La aplicación debe ser en solución con agua suficiente para lograr un buen cubrimiento del follaje. Es necesario señalar que aún no se ha evaluado suficientemente el efecto del volumen de aplicación en la efectividad de los bioestimulantes, aunque en la mayoría de los casos se usan volúmenes similares a los utilizados con los reguladores de crecimiento (13, 14).

En la búsqueda del madurante perfecto debe tratar de encontrarse un regulador del crecimiento vegetal que permita tener flexibilidad al proporcionar un período corto pero eficiente de acción y que produzca una curva rápidamente ascendente de contenido de azúcar, la que al pasar el período de acción permanezca en una cima, y finalmente, que no conduzca a efectos residuales de deterioro en el cultivo sino que permita la reanudación de una actividad normal de la planta.

El criterio más difícil, y probablemente el decisivo, en la selección del madurante adecuado, es que no ocurran efectos adversos en un plazo prudencial después de la aplicación del madurante, si la cosecha se retrasase más allá del período de acción normal, lo que significa permitir flexibilidad en la programación de la cosecha.

Los madurantes exitosos deben reunir otra serie de características adicionales, entre las que sobresalen:

Las dosis recomendadas no deben estar presentes como residuos en los productos finales, no deben moverse o infiltrarse hacia el manto freático del suelo, al usarse en dosis adecuadas y ser de baja toxicidad para los mamíferos.

Todas estas características pueden explicarse mediante la interpretación del modo de acción del madurante empleado que, como se señalara anteriormente, la mayoría son herbicidas y que prácticamente quedan comprendidos en dos grandes categorías:

- A) Los que afectan la producción de aminoácidos aromáticos e inhiben la actividad de la invertasa ácida. En esta categoría se encuentra el glifosato (comercializado como Round-up, Round-up Max o Rival).
- B) Los que afectan la síntesis de lípidos. Esta categoría incluye dos grupos de herbicidas catalogados como graminicidas selectivos.

### 3.2.8 Ubicación de la zona de producción de caña de azúcar

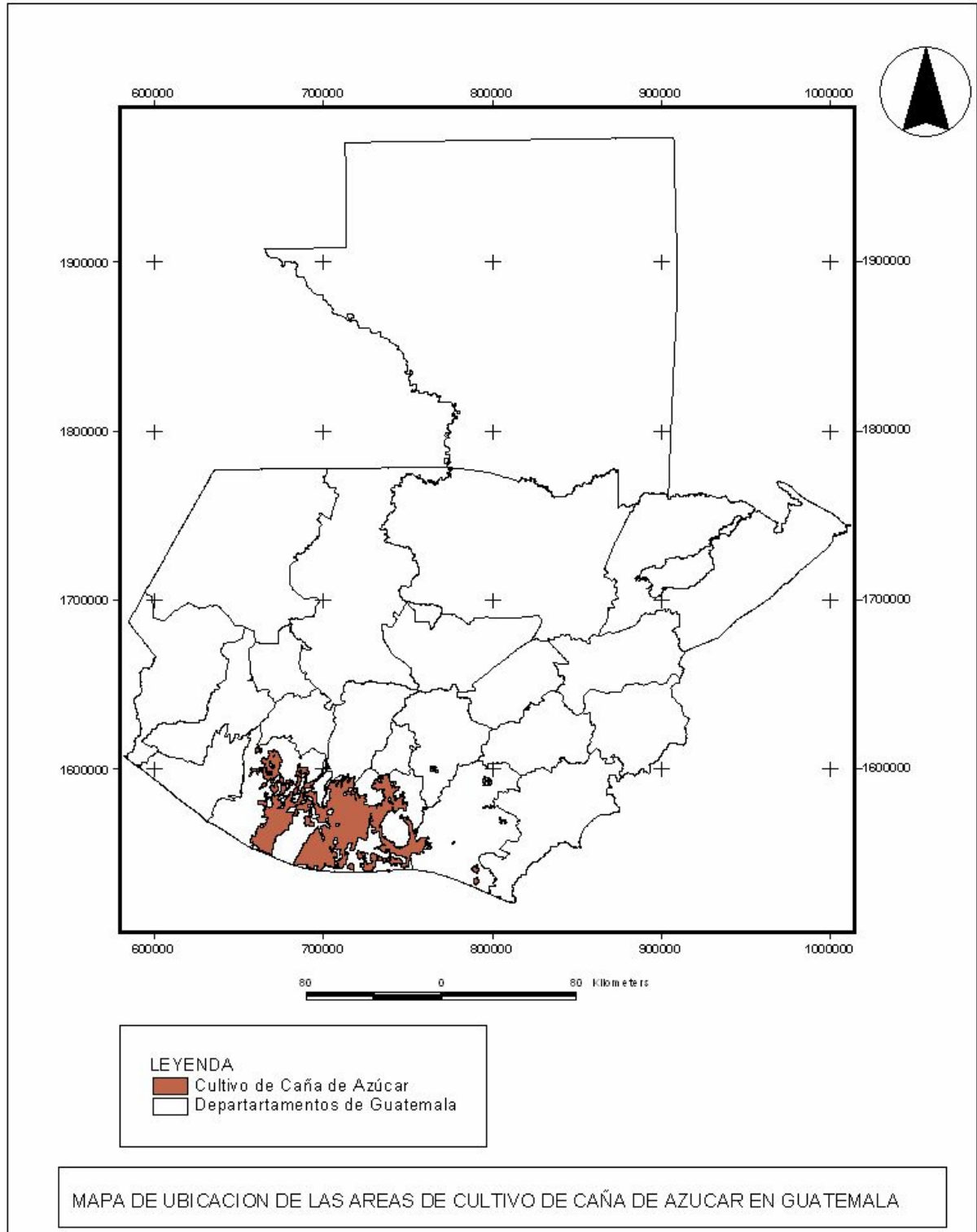


Figura 1. Zona de producción de caña de azúcar.

## IV. Objetivos

### 4.1 General

- Sistematizar las experiencias en la evaluación de distintos madurantes en el cultivo de caña de azúcar ( *Saccharum officinarum* L.)

### 4.2 Específicos

- Describir las experiencias en la evaluación del efecto en el rendimiento de libras de azúcar por tonelada de caña de cuatro madurantes en el cultivo de caña de azúcar ( *Saccharum officinarum* L.).
- Analizar y comparar los resultados en función de las fincas aplicadas.

## V. Metodología

### 5.1 Diseño del experimento

#### 5.1.1 Características de la unidad experimental y el área total

**Parcela bruta:** Cada parcela experimental tuvo un área de 5,187 metros cuadrados, la cual comprende 26 surcos distanciados 1.5 metros entre sí, con una longitud de 133 metros cada uno. Cada parcela experimental está separada por 8 surcos (12 metros) de la parcela contigua, las calles que dividen cada bloque tienen 3 metros de ancho.

**Parcela neta:** La parcela neta estuvo constituida por los 15 surcos centrales con una longitud de 93 metros cada uno, lo que hace un área de 2,092.5 metros cuadrados. Cada bloque estuvo comprendido por 2.66 hectáreas para hacer un total de 31.92 hectáreas de área experimental.

#### 5.1.2 Material experimental

La variedad de caña utilizada fue CP-722086, esta es una variedad con alta capacidad de acumulación de azúcar y altamente floreadora.

#### 5.1.3 Manejo del cultivo:

En lo que se refiere a las labores de cultivo, fueron las mismas que se realizan en los cañales comerciales, como se especifica a continuación en el cuadro 5

Cuadro 5 Secuencia de labores agronómicas del cultivo de caña de azúcar.

Labores	Semanas después del Corte
Desbasurado manual	5
Subsuelo o descarne	6
Primer rondeo manual	9
Primer cultivo	11
Primer Riego por gravedad	11
Primera Fertilización	11
Primera aplicación de herbicida	12
Segundo Riego por gravedad	16
Segunda aplicación de herbicida	18
Tercer riego por gravedad	23
Segunda fertilización	23
Rondeo con Chapeadora	31
Primera limpia manual	32
Primer Control químico de rondas	35
Segundo ronde con chapeadora	35

#### 5.1.4 Manejo del experimento

Periodo de manejo: Este comprendió todo el ciclo del cultivo, aproximadamente 12 meses, comprendiendo este periodo desde la primera semana después del corte hasta el final de la cosecha, a excepción de los riegos, los cuales se realizaron a partir del riego general o de establecimiento (a las dos semanas después del corte) hasta el establecimiento de las lluvias.

#### 5.1.5 Tratamientos

Para determinar el efecto causado por la adición de madurantes al cultivo, se evaluaron 4 productos comerciales: Fusilade, Roundup SI, Select 24ec y Touchdown Forte. Estos fueron aplicados según las dosis recomendadas para cada uno de ellos.

### 5.1.6 Aplicación de tratamientos

La aplicación se realizó con una bomba especial para la aspersión, que es el MODELO 4 F Spraying System, el cual es utilizado en la aplicación experimental de madurantes en parcelas pequeñas, para simular las aspersiones aéreas en el cultivo de la caña de azúcar. El volumen de agua a aplicar será equivalente a 333 litros/ha. A todos los tratamientos se les agregará un adherente-penetrante no iónico Adsee 775 al 0.6% (6 cc/litro de mezcla), aceite vegetal portador de agroquímicos Carrier al 6% (60 cc/litro de mezcla) y un corrector de pH/solución buffer Indicate 5 con indicador de pH. Previo a la aplicación se hará una calibración para asegurar la mejor aplicación de los tratamientos. La aplicación de los tratamientos se empezará 60 días antes de la cosecha de la caña de azúcar.

### 5.1.7 Calibración del equipo de aplicación

La calibración del equipo de aspersión de la bomba modificada especial se tomó diferentes tiempos y volúmenes para cada una de las boquillas que se utilizaron para la aplicación de los madurantes.

Cuadro 6. Calibración de equipo de aspersión con sus respectivas boquillas.

	Boquilla 1	Boquilla 2	Boquilla 3	Boquilla 4	Boquilla 5
Volumen/minuto (1)	720	750	755	735	725
Volumen/minuto (2)	730	755	745	730	730
Volumen/minuto (3)	730	740	755	725	725

Promedio total de calibración de boquillas 736.67

Velocidad promedio por 0.548 mts/seg.

### 5.1.8 Variable de respuesta

La variable por medir fue la siguiente:

El efecto de los tratamientos se evaluó principalmente sobre el rendimiento en toneladas de azúcar por hectárea, que proviene de la evaluación del rendimiento en toneladas de caña por hectárea, la metodología es la siguiente:

#### Rendimiento en libras de azúcar por tonelada de caña

Se realizaron muestreos de 10 tallos escogidos al azar por cada unidad experimental, llevándole las muestras al laboratorio, para análisis de jugos. Obteniendo así, grados Brix, porcentaje pol y pureza, para luego determinar el rendimiento en libras de azúcar por tonelada de caña.

Para determinar el rendimiento en libras de azúcar por tonelada de caña se utilizo la formula de Winter y Carp

$$\frac{\text{Lbs Azucar}}{\text{ton caña}} = \% \text{ Sacarosa} \left( 1.4 - \frac{40}{p} \right) * \text{Factor}$$

Factor: Es de 14.25 estimado promedio de las ultimas zafras.

### 5.1.9 Análisis de la información

**Análisis de varianza:** Se utilizo un análisis combinado utilizando un diseño bifactorial con arreglo en bloques completos al azar, siendo el modelo estadístico el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \gamma_k + \epsilon_{ijk}$$



En donde:

$Y_{ijk}$	Variable de respuesta
$\mu$	Media general de los tratamientos
$\alpha_i$	Efectos del material de caña utilizada (Factor A)
$\beta_j$	Efectos de la dosis de madurante utilizada (Factor B)
$(\alpha\beta)_{ij}$	Interacción entre el i-esimo nivel del factor A y el j-esimo nivel del factor B
$\gamma_k$	Efecto del k-esimo bloque
$\epsilon_{ijk}$	Error experimental

Prueba de Tukey: Se realizo esta prueba de medias a los efectos que presentaron diferencias significativas en el análisis de varianza

## VI. Resultados

### 6.1 Experiencias en la evaluación del rendimiento de libras de azúcar por tonelada de caña

Los resultados obtenidos en campo se pueden resumir en el cuadro 7.

Cuadro 7. Resultados de aplicaciones de madurantes en caña de azúcar.

Producto	Finca	Nombre	Has	Toneladas	Rendimiento	Media
Fusilade	011	Genova	13.25	1,045.06	236.15	<b>219.20</b>
	017	El Naranjo	5.24	338.70	222.43	
	019	El Relicario	27.06	625.98	216.91	
	034	Panorama	77.32	10,895.34	216.88	
Roundup SI	005	Belem	82.06	8,646.34	210.94	<b>218.17</b>
	006	La Virgen	83.20	8,266.53	213.81	
	017	El Naranjo	118.87	3,022.65	225.51	
	020	San Cayetano	50.72	5,471.40	233.54	
	021	Monte De Oro	10.17	409.19	229.58	
	022	Dolores	86.02	797.48	238.22	
	024	Tasmania	51.40	5,641.21	227.51	
	027	Melville	28.26	735.12	227.22	
	029	Agropecuaria La Luz	99.62	645.04	232.47	
	039	El Naranjo - Villavicencio	53.79	5,498.73	221.50	
	040	La Toma	20.36	534.52	222.20	
	049	El Capullo	118.67	15,154.37	178.11	
062	La Union	13.92	286.42	203.57		
Select 24ec	008	Los Castaños	27.80	465.84	232.50	<b>214.06</b>
	011	Genova	139.77	2,757.94	222.76	
	019	El Relicario	60.11	849.33	223.97	
	020	San Cayetano	110.01	10,572.52	212.16	
	024	Tasmania	262.36	13,812.52	221.18	
	030	El Triunfo	39.47	4,059.94	192.39	
	032	Ana Maria Paiz	59.85	7,946.94	186.95	
	033	Palmeras (El Boton)	158.10	18,103.53	220.76	
	034	Panorama	79.59	9,887.86	215.99	
	035	Horizonte	77.17	10,934.00	193.85	
	036	Las Violetas	28.50	2,822.74	193.29	
	039	El Naranjo - Villavicencio	6.74	547.97	192.50	
	041	Los Angeles	35.98	220.78	208.50	
054	La Isla	35.78	124.40	208.03		
Touchdown Forte	002	Mercedes	15.06	91.44	206.53	<b>219.55</b>
	004	Variedades	39.07	3,184.54	226.25	
	005	Belem	224.03	18,178.12	225.52	
	009	Costa Brava	12.93	24.26	219.74	
	012	Laguna Blanca	136.80	18,427.26	210.06	
	014	El Recuerdo	37.24	3,440.06	226.55	
	017	El Naranjo	270.88	28,321.97	219.49	
	020	San Cayetano	151.07	16,120.85	222.50	
	021	Monte De Oro	48.19	308.74	213.33	
	024	Tasmania	135.40	17,865.12	227.31	
	039	El Naranjo - Villavicencio	79.69	2,686.45	210.10	
	048	Toledo	76.69	5,545.10	210.03	
169	San Eduardo	5.73	225.30	208.34		
			<b>3,293.94</b>	<b>265,539.60</b>	<b>214.67</b>	<b>214.67</b>

En el cuadro 8 se presentan los resultados obtenidos del análisis de varianza (ANDEVA), en los cuales se puede observar que si existen diferencias altamente significativas para las variables dosis y la interacción entre dosis y el material de caña utilizado.

Cuadro 8. Análisis de varianza para el rendimiento

FV	GL	SC	CM	F Cal	Pr > F
Bloques	4	1176.31	196.05		
A	3	7337.47	2445.82	17.29	0.0001 **
B	3	35478.65	3942.07	1.10	0.3408
AB	9	6749.81	249.99	10.73	0.1879
Error	45	14361.88	265.96		
Total	64	65104.12			

CV: 6.36%

Estadísticamente no existen diferencias significativas en el rendimiento de libras de azúcar por tonelada de caña entre los distintos materiales evaluados, por lo que se puede establecer que las mismas responden de una manera muy similar a las aplicaciones de madurantes.

Sin embargo si existe una diferencia significativa en el rendimiento de libras de azúcar por tonelada de caña entre los distintos productos madurantes utilizados, por lo cual se realizó una prueba de medias para determinar cual era el producto con mejores resultados, los cuales se muestran en el cuadro 9.

Cuadro 9. Prueba múltiple de medias para la dosis de Touchdown Forte

Madurante utilizado	Media (lbs azúcar/tn Caña)	Grupo Tukey (5%)
Touchdown Forte	219.55	A
Fusilade	219.20	A
Roundup SI	218.17	B
Select 24ec	214.06	C
Testigo	197.75	D

La prueba de medias nos permite establecer que las aplicaciones con Touchdown Forte y Fusilade, utilizadas son similares estadísticamente, pero superiores al testigo y al uso de Roundup SI y Select 24ec, aunque con los anteriores dos el margen no supera las 10 libras de diferencia.

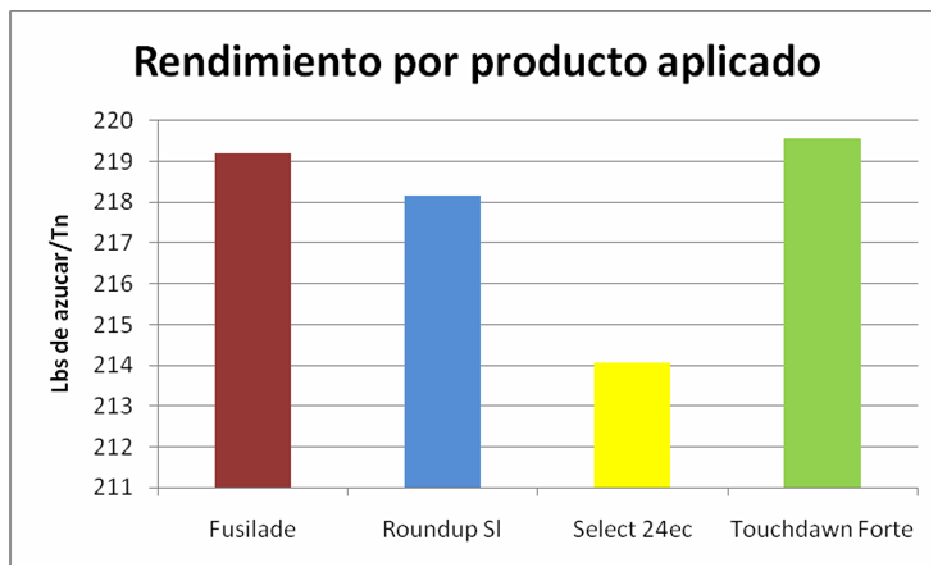


Figura 2. Rendimiento en libras de azúcar por tonelada de caña

## 6.2 Analisis y comparación por fincas aplicadas

Para este análisis es necesario aclarar que lo que se pretende establecer es que únicamente se puede realizar comparaciones equitativas, si los productos evaluados compiten bajo las mismas condiciones agronómicas (suelo, agua clima etc.), por lo cual se presenta a continuación el análisis de las aplicaciones bajo las mismas condiciones agronómicas.

Cuadro 10. Tabla comparativa de rendimientos bajo las mismas condiciones agronómicas.

Producto	Finca	Nombre	Has	Toneladas	Rendimiento	Media
Fusilade						
	017	El Naranjo	5.24	338.70	222.43	<b>222.43</b>
Roundup SI	017	El Naranjo	118.87	3,022.65	225.51	227.01
	020	San Cayetano	50.72	5,471.40	233.54	
	024	Tasmania	51.40	5,641.21	227.51	
	039	El Naranjo - Villavicencio	53.79	5,498.73	221.50	
Select 24ec	020	San Cayetano	110.01	10,572.52	212.16	208.61
	024	Tasmania	262.36	13,812.52	221.18	
	039	El Naranjo - Villavicencio	6.74	547.97	192.50	
Touchdown Forte	017	El Naranjo	270.88	28,321.97	219.49	219.85
	020	San Cayetano	151.07	16,120.85	222.50	
	024	Tasmania	135.40	17,865.12	227.31	
	039	El Naranjo - Villavicencio	79.69	2,686.45	210.10	
				<b>64,994.39</b>	<b>879.4</b>	

El cuadro 10 muestra con claridad que el mejor tratamiento fue el producto Roundup SI, obteniéndose rendimientos promedio de 227.01 libras de azúcar por tonelada de caña molida.

Glifosato presento los mas altos rendimientos durante las evaluaciones y es considerado por lo tanto como la mejor opción ha utilizar como madurante, tanto por la consistencia en el efecto sobre el cultivo, como por su efectividad al incrementar los rendimientos de libras de azúcar por tonelada.

## VII. Conclusiones

- Al evaluar el rendimiento en libras de azúcar por tonelada de caña obtenidos en los tratamientos utilizados, los mejores rendimientos se presentaron con la utilización del ingrediente activo glifosato (Touchdown Forte y Roundup SL.), obteniendo un rendimiento promedio de 219.55 y 218.17 libras de azúcar por tonelada de caña, respectivamente.
- Bajo el análisis comparativo, bajo las mismas condiciones agronómicas, el mejor rendimiento promedio lo presentó Roundup SL, seguido de Fusilade Touchdown Forte, por lo que la molécula que fue mas eficaz es la de Glifosato, presente en los productos comerciales Touchdown Forte y Roundup SL, siendo este ultimo el que presentó la mejor formulación de acuerdo a los rendimientos obtenidos.

### **VIII. Recomendaciones**

- Adoptar el uso de Glifosato como un producto capaz de aumentar la producción de libras de azúcar por tonelada de caña., en una dosis de entre 0.9 y 1.1 litros por hectárea.
- Evaluar el uso de Glifosato en sus diferentes formulaciones como madurante en otros materiales comerciales de caña de azúcar, enfocándose los estudios para demostrar que variación de molécula es la mas efectiva y viable, tanto técnica como económica.

## IX. Bibliografía

1. Arcila Arias, J. 1986. Maduración química de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.). In Curso el cultivo de la caña de azúcar (1986, CO). Memorias. Cali, Colombia, Tecnicaña. p. 323-347.
2. Arcila Arias, J; Villegas T, F. 2003. Madurantes en caña de azúcar: manual de procedimientos y normas para su aplicación. Cali, Cenicaña. 66p. (Serie Técnica no. 32).
3. Barneond Adrover, HR. 2002. Reseña histórica de las aplicaciones de madurante en el ingenio Tierra Buena, Nueva Concepción, Escuintla, periodo 1994-1999. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 57p.
4. Buenaventura Osorio, CE. 1986. Evaluación de la aplicación de madurantes químicos en caña de azúcar en Colombia. Cali, Colombia, CENICAÑA. 20 p. (Documento de Trabajo, no. 090).
5. CENGICAÑA (Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la caña de Azúcar, GT). 2004. Composición varietal de la agroindustria azucarera en Guatemala. Guatemala, Boletín Técnico no. 1, 60p.
6. Cronquist, A. 1981. An integrated system of classification of flowering plants. New York, US, Columbia University Press. 1262 p.
7. Cuéllar Cano, J; Castro, JC; Arana D, CH. 1997. Bioestimulantes de biomasa y rendimiento aplicados en la época de maduración de la caña con y sin glifosato. In: Congreso de la Sociedad Colombiana de Técnicos de la Caña de Azúcar (4, 1997, CO). Memorias. Cali, Colombia, Tecnicaña. p. 401-409.
8. Daniels, J; Roach, BT. 1987. Taxonomy and evolution, in sugarcane improvement through breeding. Holanda, Elsevier. p. 7-84.
9. Franz, JE.; Mao, MK.; y Sikorski, JA. 1997. Glyphosate: a unique global herbicide. Washington, DC. US, American Chemical Society. 653 p. (ACS Monograph no.189).
10. ICA (Instituto Colombiano Agropecuario CO). 1995. Normas del ICA en materia de insumos agrícolas - bioinsumos, abonos, enmiendas, acondicionadores, reguladores fisiológicos, coadyuvantes y plaguicidas, resolución no. 3079 del 19 de octubre de 1995. Santafé de Bogotá, Colombia. 43 p.
11. \_\_\_\_\_. 1996. Aplicación de insumos agrícolas: manual técnico, resolución no. 1068 de 1996. Santafé de Bogotá, Colombia. 48 p.
12. ICA Sección del Valle del Cauca (Instituto Colombiano Agropecuario CO). 2000. Resolución no. 00099 del 12 de septiembre de 2000. Cali, Colombia. 2 p.
13. ICI Agrochemicals. 1987. Fluazifop-p-butil: su seguridad a la salud humana y el medio ambiente. US, Boletín Agroquímica. 8 p.
14. Ministerio de Salud Pública de Colombia, CO. 1991. Decreto no. 1843 del 22 de julio de 1991: se reglamenta el uso y manejo de plaguicidas. Santa Fe de Bogotá, Colombia, Diario Oficial de la República, ago 26, 24 p.
15. Monsanto. s.f. Roundup herbicida de Monsanto: manual técnico. Guatemala. 16 p.
16. Ortiz Garzo JM. 2003. Evaluación de tres productos químicos a tres dosis aplicados como madurante en caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.), en el departamento de Escuintla. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 80p.
17. Pérez, S; Calero, CX; Jaramillo, JM. 2000. Manejo de envases plásticos de agroquímicos. Carta Trimestral CENICAÑA 22(4):25-27 p.



18. Portillo, FN. 1999. Evaluación de tres sulfonilureas solas y con glifosato, como inhibidoras de flor y su efecto en el rendimiento de a caña de azúcar (*Saccharum spp.*) en Escuintla. Investigación Inferencial. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 65p.
19. Rodríguez, NM. S.f. Calidad de agua y agroquímicos (en línea). Guatemala, Agronort insumos agropecuarios. Consultado 20 ago 2008. Disponible en <http://www.agronort.com/informacion/calidagua.html>
20. Vásquez Quintero, H; Arcila Arias, J. 1984. Análisis de la aplicación comercial de madurantes en el Ingenio Risaralda. *In*: Congreso de la Sociedad Colombiana de Técnicos de la Caña de Azúcar (1, 1984, CO). Cali, Colombia, Tecnicaña. p. 10-20.
21. Ventura Hernández, RR. 1997. Estimación de pérdidas de sacarosa en caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) por efecto de la infestación de barrenadores. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 36p.
22. Villegas T, F. 1992. Avances de la investigación con madurantes. Cali, Colombia CENICAÑA. 18 p. 50 (Documento de trabajo, no. 265).
23. \_\_\_\_\_; Arcila A, J. 1995. Uso de madurantes. *In*: Cassalet, C; Torres, J; Isaacs, C (eds.). El Cultivo de la Caña en la Zona Azucarera de Colombia. Cali, CENICAÑA. p. 315-335.
24. \_\_\_\_\_; Torres, JS; Besosa, R; Gaviria, LF; Domínguez, JC. 2000. Respuesta de la variedad CC 85-92 a los madurantes. *In* Congreso Colombiano de La Asociación de Técnicos de la Caña de Azúcar (5, 2000, CO). Cali, Colombia, CENICAÑA. 21 p (Documento de trabajo no. 442).
25. Yang, SJ. 1981. Study on chemical ripening of sugarcane in the Cauca valley. Cali. Cali, Colombia, CENICAÑA. 22 p. (Documento de trabajo no. 047).
26. \_\_\_\_\_; Buenaventura Osorio, CE. 1984. Aplicación de madurantes químicos para aumentar la producción de azúcar en el valle del Cauca, Cali. Cali, Colombia, CENICAÑA. 29 p. (Documento de trabajo no. 045).