

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

**“EXPERIENCIAS EN LA OPTIMIZACIÓN DE LA MADURACIÓN INDUCIDA, EN EL CULTIVO
DE LA 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

JOSE OSWALDO SAENZ SOTO

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

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2004

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

RECTOR

Dr. M. V. LUIS ALFONSO LEAL MOTERROSO

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA

DECANO:	Dr. ARIEL ABDERRAMAN ORTIZ LÓPEZ
VOCAL PRIMERO:	Ing. Agr. ALFREDO ITZEP MANUEL
VOCAL SEGUNDO:	Ing. Agr. MANUEL DE JESÚS MARTÍNEZ OVALLE
VOCAL TERCERO:	Ing. Agr. ERBERTO RAUL ALFARO ORTIZ
VOCAL CUARTO:	Prof. JUVENCIO CHOM CANIL
VOCAL QUINTO:	Prof. BAYRON GEOVANY GONZALES CHAVAJAY
SECRETARIO:	Ing. Agr. PEDRO PELAEZ REYES

Guatemala, Noviembre de 2004.

Guatemala, Noviembre de 2004.

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

Señores miembros:

De conformidad con las normas establecidas en la Ley Orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a vuestra consideración, el documento de graduación titulado:

“EXPERIENCIAS EN LA OPTIMIZACIÓN DE LA MADURACIÓN INDUCIDA, EN EL CULTIVO DE LA CAÑA DE AZUCAR (*Saccharum officinarum* L.) EN GUATEMALA”

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

Atentamente,

JOSE OSWALDO SAENZ SOTO

ACTO QUE DEDICO

A:

DIOS: Creador del cielo y de la tierra, por permitirme alcanzar un título profesional, que será mi herramienta de trabajo para el resto de mi vida, para servirle a él y a todos mis seres queridos.

MIS PADRES: José Oswaldo Sáenz Barrios (Q. E. P. D).
Martha Josefina Soto de Sáenz.
Cómo mínimo aporte al amor , apoyo y comprensión que siempre me brindaron, y cumpliendo su deseo de verme graduado profesionalmente.

MI ESPOSA: Oneida Isela Merlos de Sáenz.
Por todo su amor y apoyo incondicional a lo largo de muchos años, los cuales quiero seguirle brindando también yo por toda la vida.

MIS HIJOS: Martha María Fernanda Sáenz Merlos.
José Oswaldo Sáenz Merlos.
Por permitirme tener la dicha y fortuna de amarlos, educarlos y formarlos, y gozar el amor que me brindan.

MIS HERMANAS: Martha Anabella Sáenz Soto.
Liz Mariela Sáenz de Fonseca.
Por el amor de hermanos que nos profesamos y su apoyo incondicional

MI MADRINA: Martha Alicia Muñoz Mena de Rodríguez.
Guía y protectora de muchos proyectos de mi vida.

MI FAMILIA: Por sentir el placer de la convivencia familiar en todo momento.

AGRADECIMIENTOS

A:

EMPRESA SAN DIEGO S.A.:

Por albergarme en sus filas de trabajadores desde Octubre de 1,991,
en especial a mis directores
Lic. Alfredo Vila Girón.
Sr. Fraternal Vila Girón.
Sr. Luis Recinos.
Arq. Jesús Unda.

MIS ASESORES:

Ing. Agr. M.S.C. Manuel de Jesús Martínez Ovalle.
Ing. Agr. Eduardo Aníbal Toledo Meneses.
Por su colaboración y entrega en la realización del presente trabajo.

MIS COMPAÑEROS DE TRABAJO:

Por su camaradería y amistad brindada por muchos años, tanto jefes,
similares y subalternos.

COLABORADORES:

Gracias a su apoyo hice posible éste trabajo, mil gracias. En especial:
Ing. Agr. Juan Herrera.
Sr. Alberto Morales.
Srta. Raquel Orellana.

MIS AMIGOS EN GENERAL:

Por su amistad honesta y sincera.

Guatemala, Noviembre de 2004

Dr. David Monterroso Salvatierra
Director Instituto de Investigaciones Agronómicas
Facultad de Agronomía
Universidad de San Carlos de Guatemala
Presente

Señor Director :

Me dirijo a usted para manifestarle que atendiendo a la designación del Instituto de Investigaciones Agronómicas, he procedido a asesorar y revisar el documento de graduación del estudiante José Oswaldo Sáenz Soto, carné 86-14782, titulado

“EXPERIENCIAS EN LA OPTIMIZACIÓN DE LA MADURACION INDUCIDA, EN EL CULTIVO DE LA 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, Noviembre de 2004

Dr. David Monterroso Salvatierra
Director Instituto de Investigaciones Agronómicas
Facultad de Agronomía
Universidad de San Carlos de Guatemala
Presente

Señor Director :

Me dirijo a usted para manifestarle que atendiendo a la designación del Instituto de Investigaciones Agronómicas, he procedido a asesorar y revisar el documento de graduación del estudiante José Oswaldo Sáenz Soto, carné 86-14782, titulado

“EXPERIENCIAS EN LA OPTIMIZACIÓN DE LA MADURACION INDUCIDA, EN EL CULTIVO DE LA 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. Eduardo Aníbal Toledo Meneses.
Colegiado No.

Índice General

<i>Contenido</i>	<i>Página</i>
Índice General.....	i
Índice de Cuadros.....	v
Índice de Figuras.....	vi
Resumen.....	vii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
III. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	4
3.1 Marco conceptual.....	4
3.1.1 Historia de la caña de azúcar.....	4
3.1.2 Clasificación taxonómica del cultivo de la caña de azúcar.....	4
3.1.3 Fisiología de la maduración en la caña de azúcar.....	5
3.1.4 Procesos anatómicos y morfológicos.....	5
3.1.5 Factores que determinan la dosis del madurante y el volumen de aplicación.....	7
3.1.5.1 Factores naturales y agronómicos.....	7
3.1.5.1.1 Factores naturales.....	7
3.1.5.1.1.1 Precipitación pluvial.....	8
3.1.5.1.1.2 Temperatura.....	8
3.1.5.1.1.3 Luminosidad.....	9
3.1.5.1.2 Factores agronómicos.....	9
3.1.5.1.2.1 Variedad.....	10
3.1.5.1.2.2 Fertilización.....	11
3.1.5.1.2.3 Riego.....	12
3.1.5.1.2.3.1 Respuesta del madurante bajo condiciones de estrés hídrico.....	13
3.1.5.1.2.3.2 Mecanismo de respuesta de las plantas al estrés hídrico.....	14
3.1.5.1.2.3.3 Mecanismo de respuesta de las plantas a condiciones de excesiva humedad en el suelo.....	15
3.1.5.1.2.3.4 Aplicación de madurante bajo condiciones de escasez de humedad en el suelo.....	16
3.1.5.1.2.3.4.1 Estrés leve.....	17

3.1.5.1.2.3.4.2	Estrés moderado.....	17
3.1.5.1.2.3.4.3	Estrés severo.....	17
3.1.5.1.2.3.5	Aplicación de madurante bajo condiciones de excesiva humedad en el suelo.....	17
3.1.5.1.2.4	Estado de desarrollo vegetativo del cultivo.....	19
3.1.6	Maduración natural.....	19
3.1.7	La maduración inducida.....	20
3.1.8	Importancia en el uso de madurantes.....	22
3.1.9	Variables responsables del contenido de sacarosa en las cañas.....	23
3.1.9.1	Brix.....	23
3.1.9.2	Pol.....	23
3.1.9.3	Azúcares Reductores.....	23
3.1.9.4	Peso Torta.....	23
3.1.9.5	Acidez.....	23
3.1.9.6	pH.....	23
3.1.9.7	Dextranas.....	23
3.1.9.8	Sacarosa.....	23
3.1.9.9	Glucosa.....	24
3.1.9.10	Fructuosa.....	24
3.1.9.11	Pureza (HPLC).....	24
3.1.9.12	Rendimiento.....	24
3.1.10	Técnicas de aplicación de madurantes.....	24
3.1.10.1	Equipo de aplicación.....	24
3.1.10.2	Marcación de planos.....	26
3.1.10.3	Selección del producto, la dosis y el volumen de aplicación.....	26
3.1.10.4	Selección del equipo de aplicación.....	26
3.1.10.5	Consideraciones generales a tomar en cuenta de acuerdo a la aeronave a seleccionar.....	27
3.1.10.6	Aprovisionamiento o llenado de tanque de aplicación de la aeronaves.....	28
3.1.10.7	Revisión de boquillas.....	28
3.1.10.8	Aplicación del madurante.....	28
3.1.10.9	Aeronaves de mayor demanda para aplicación de madurantes en caña de	

	azúcar.....	29
3.1.10.10	Boquillas utilizadas para aspersiones aéreas de madurantes.....	30
3.1.10.11	Secuencia para la aplicación de madurantes en caña de azúcar.....	31
3.1.10.12	Recomendaciones básicas para la aplicación de madurantes.....	32
3.1.10.12.1	Recomendaciones básicas para el personal.....	32
3.1.10.12.2	Recomendaciones básicas para el responsable de la aplicación.....	33
3.1.10.12.3	Recomendaciones básicas para el supervisor de campo.....	33
3.1.10.12.4	Recomendaciones básicas para el Auxiliar de campo.....	33
3.2	MARCO REFERENCIAL.....	34
3.2.1	Características de los madurantes.....	34
3.2.1.1	Sal isopropilamina de glifosato (Round-up sl).....	34
3.2.1.2	Sal monoamonio de glifosato (Round-up Max).....	35
3.2.1.3	Fluazifop-p-butil (Fusilade).....	37
3.2.1.4	Bioestimulantes.....	38
3.2.1.4.1	Bioticón.....	38
3.2.1.4.2	Potasio foliar.....	38
3.2.1.5	Modo de acción de los ciclohexadiones (Sethoxydim, Nabú, Poast, Clethodim, Select), y los ariloxifenoxipropionatos (Fluazifop-butil, Fusilade, Haloxifop-metil, Gallant, Quizalofop-etil, Assure y Targa).....	39
3.2.1.6	Sal trimetilsulfonio de N-(fosfonometil) glicina (Touchdown).....	41
IV.	OBJETIVOS.....	44
4.1	General.....	44
4.2	Específicos.....	44
V.	METODOLOGIA.....	45
5.1	Fase de Gabinete.....	45
5.2	Revisión de programas de aplicación de madurantes de varios ingenios del país.....	45
5.3	Análisis, interpretación y presentación de resultados.....	45
VI.	RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	46
6.1	Evolución de la técnica de maduración inducida en caña de azúcar en Guatemala.....	46
6.2	Madurante con resultados más consistentes.....	47

6.3	Técnica de aplicación eficiente.....	51
6.3.1	Comparación avión versus helicóptero en cuanto a la aplicación.....	51
6.3.2	Temporización zafra.....	52
6.3.2.1	Primer tercio (de noviembre a diciembre).....	52
6.3.2.2	Segundo tercio (de enero a febrero).....	52
6.3.2.3	Tercer tercio (de marzo a abril).....	52
6.3.3	Dosis por variedad.....	53
6.3.4	Condiciones meteorológicas.....	54
6.3.5	Monitoreo de vuelos.....	54
VII.	CONCLUSIONES.....	56
VIII.	RECOMENDACIONES.....	57
IX.	BIBLIOGRAFIA.....	58

Índice de Cuadros

<i>Contenido</i>	<i>Página</i>
Cuadro Dosis de madurante (reguladores de crecimiento) recomendada por cada 100 toneladas de caña ^a , según las condiciones meteorológicas esperadas durante el período comprendido entre la aplicación y la cosecha.....	25
Cuadro Condiciones técnicas y equipos utilizados para la aplicación aérea de madurantes en caña de azúcar.....	25
Cuadro Condiciones meteorológicas que se deben tener en cuenta en el momento de la aplicación de madurantes en caña de azúcar.....	29
Cuadro Resumen de la secuencia para aplicación de madurante de acuerdo a las actividades relevantes.....	32
Cuadro Resumen de resultados de los ensayos realizados en la zafra 94 –95.....	48
Cuadro Resumen de Resultados de la variedad CP-722086 durante la zafra 95 – 96.....	48
Cuadro Resumen de resultados diferentes ensayos evaluados de la temporada de cosecha 1996 a 1999.....	49
Cuadro Condiciones técnicas y equipos utilizados para la aplicación aérea de madurantes en caña de azúcar en Guatemala.....	51
Cuadro Dosis de madurante (reguladores de crecimiento) recomendada por cada 100 toneladas de caña, según las condiciones meteorológicas esperadas durante el período comprendido entre la aplicación y la cosecha.....	53
Periodos pertinentes de espera entre la aplicación de madurante y la cosecha,	
Cuadro Guatemala	53
Cuadro Condiciones meteorológicas al momento de la aplicación de madurantes en caña de azúcar, en Guatemala.....	54

Índice de Figuras

<i>Contenido</i>	<i>Página</i>
Figura 1. Ejemplo de plano o croquis de un pante, necesario para realizar la aplicación de madurantes.....	27
Figura 2. Fotografía de helicóptero utilizado en la aplicación de madurante.....	29
Figura 3. Fotografía de avioneta utilizada en la aplicación de madurante.....	30
Figura 4. Fotografía de avión liviano utilizado en la aplicación de madurante.....	30
Figura 5. Aspersor rotatorio típico de las avionetas.....	31
Figura 6. Boquilla rotativa típico del avión liviano.....	31
Figura 7. Zona de producción de caña de azúcar.....	43
Figura 8. Resumen comparativo de rendimiento en libras de azúcar por tonelada de caña molida, de 15 años.....	50

EXPERIENCIAS EN LA OPTIMIZACIÓN DE LA MADURACIÓN INDUCIDA, EN EL CULTIVO DE LA CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum officinarum* L.) EN GUATEMALA

OPTIMIZATION EXPERIENCES ON INDUCED MATURATION, IN SUGAR CANE (*Saccharum officinarum* L.), PRODUCTION IN GUATEMALA

RESUMEN

El presente trabajo describe las experiencias sobre el uso de madurantes en el cultivo de la caña de azúcar en Guatemala, actividad que se inició a finales de la década de los '80, tomó auge en los '90, y actualmente es una práctica muy importante

Se debe mencionar que la caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) en Guatemala, ocupa una de las mayores áreas cultivadas del país (más de 180,000 hectáreas), áreas que en su momento fueron cultivadas con algodón. La evolución de la utilización de madurantes en el cultivo de la caña de azúcar ha sido un proceso dinámico. Inicialmente las aplicaciones de madurante se realizaban únicamente el primer tercio de zafra (noviembre, diciembre). Actualmente esto ha cambiado a tal punto que en la mayoría de ingenios se llega moliendo caña tratada con madurante, todo el primero y segundo tercio de zafra (noviembre a febrero), y en algunas ocasiones se han visto los Ingenios en la necesidad de aplicar durante el tercer tercio de zafra (marzo a abril).

Por otro parte a lo largo de 15 años el único ingrediente activo consistente y con lo mayores incrementos de libras de azúcar por tonelada de caña molida (239 Lb. Azúcar en la zafra 2003-2004), es la Sal isopropilamina de glifosato (Round-Up sl). Actualmente se le asemeja en resultados la Sal monoamonio de glifosato (Round-Up Max), y se prevé que podría llegar a igualar e incluso superar a todos los madurantes que se utilizan, para lo cual deberán pasar aun varias temporadas de zafra. La Sal trimetilsulfonio de N-(fosfonometil) glicina (Touchdown), ha mostrado buena respuesta en rendimiento al igual que Touchdown Forte. Por otro lado el uso del ingrediente activo Cletodim (Selec), y Fluazifop-butil (Fusilade), queda restringido para áreas o lotes que tienen cultivos de hoja ancha en los lotes vecinos.

Los aspectos técnicos mas importantes a tomar en cuenta para asegurar el éxito de la aplicación de madurantes en el cultivo de la caña de azúcar (*saccharum officinarum* L.), son: Elección del equipo de

aplicación aérea, temporización de la zafra, elección de dosis, variedad, condiciones meteorológicas, monitoreo de vuelo, e ingrediente activo, información que esta registrada en este documento.

Por ultimo se recomienda dar una mayor participación e investigación a nuevas moléculas, tales como la de los productos Round-Up Max y Touchdam Forte sl concentrado.

I. INTRODUCCIÓN

Con el presente trabajo, se recapitula las experiencias sobre el uso de madurantes en el cultivo de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) en Guatemala, actividad que 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.

Es importante mencionar que la caña de azúcar en Guatemala, como cultivo tiene una de las mayores áreas cultivadas del país (más de 180,000 hectáreas), las que se incrementaron por los problemas de plagas y la baja en los precios internacionales que sufrió el cultivo de algodón, siendo desplazado por la caña de azúcar.

En este documento la información ha sido sistematizada, y registrado los conocimientos adquiridos en 15 años de aplicación de madurantes, información que se generó en el trabajo de campo de manera que se ha ido plasmando en el mismo las técnicas pasadas y actuales de aplicación de madurantes, brindando elementos para poder elegir la forma ideal de aplicar y obtener un mayor rendimiento en producción de azúcar por tonelada de caña, por ejemplo hoy se sabe gracias al trabajo de campo que el comportamiento de las variedades de caña en aplicaciones comerciales en los ingenios, clasificándose como susceptibles o resistentes. Así, 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.

II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La cosecha de caña de azúcar (zafra), en Guatemala coincide con la salida del invierno (noviembre), prolongándose hasta finales de marzo ó comienzos de abril. Dicha situación provoca muchos problemas al inicio de dicha actividad, pues se muele 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, lo cual genera acorchamiento que también provoca disminución en tonelaje y azúcar.

Cabe mencionar que la composición varietal de la agroindustria azucarera guatemalteca, un poco antes de la llegada de los madurantes, 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. Surge la inquietud de desarrollar técnicas para incrementar la concentración de azúcar en el tallo, dentro de lo cual se contempla la evaluación de productos químicos que indujeran el incremento en la concentración de azúcar en el tallo, no sólo al inicio de la zafra, sino a lo largo de ella.

Desde esa época, 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.

Fue de tal magnitud el desarrollo alcanzado en dicho tema, que le ha valido a Guatemala ser líder a nivel Centroamericano y muy bien ubicado a nivel mundial.

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. Todo lo anterior ha sido suficiente para 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.

Pero de todos los aspectos desarrollados para lograr éstos méritos, sin duda alguna el papel medular lo ha jugado la maduración inducida de la caña de azúcar, por lo que el presente trabajo llena un vacío en la descripción de su historia y logros obtenidos de esta tan importante técnica.

III. MARCO TEÓRICO

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

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 mas 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).

3.1.5.1.1 Factores naturales

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

3.1.5.1.1.1 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).

3.1.5.1.1.2 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).

3.1.5.1.1.3 Luminosidad

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

3.1.5.1.1.2 Factores agronómicos

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

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.

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).

3.1.5.1.2.1 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.

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 e 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.

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.

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).

3.1.5.1.2.2 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).

3.1.5.1.2.3 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.

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 floreadoras.

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

En regiones donde se manejan los riegos después del período de establecimiento, llamados riegos 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).

3.1.5.1.2.3.1 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 mas bien gradual. Es importante comprender que, mas que el estrés hídrico en sí, los fenómenos finales, casi sin duda, son respuestas indirectas a uno o más de los primeros.

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.

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).

3.1.5.1.2.3.2 Mecanismo de respuesta de las plantas al estrés hídrico

Hay por lo menos cinco posibilidades de explicar la manera de cómo el estrés hídrico daña a una planta de un cultivo cualquiera, éstas son:

3.1.5.1.2.3.2.1 La actividad hídrica se ve disminuida, pero esta disminución no es tan drástica debido a que los potenciales hídricos no varían demasiado, o por lo menos no lo suficiente como para tener alguna consecuencia en las reacciones químicas.

3.1.5.1.2.3.2.2 Los solutos incrementan su concentración cuando se pierde agua. No es tan importante, especialmente porque en la mayoría de situaciones la concentración cambia el porcentaje solo levemente.

3.1.5.1.2.3.2.3 Cambios especiales en las membranas. Estos efectos ya han sido demostrados, pero debido a que hay otros factores que pueden causar efectos semejantes sin que la planta responda de una manera extraordinaria, no parece probable que éste sea un aspecto importante de las respuestas que la planta presenta ante el estrés hídrico.

3.1.5.1.2.3.2.4 Perturbación de la hidratación de las macromoléculas. Al perturbar el agua de hidratación de las macromoléculas, también se puede afectar la función de las mismas. Esto puede conducir a la “desnaturalización” de enzimas clave en los procesos biológicos. Sin embargo, hay estudios que han demostrado de manera sorprendente, que la célula puede perder una buena cantidad de agua, antes de que la función enzimática se perturbe notablemente.

3.1.5.1.2.3.2.5 Cambios grandes de la presión de turgencia de las células vegetales. Esto se manifiesta aún en los cambios mas leves de potencial hídrico ya que se ha dicho que el crecimiento en general es muy sensible al estrés hídrico y ello probablemente sucede cuando se disminuye la turgencia de la célula. Existe evidencia de que se produce ABA (ácido absícico) como respuesta a la disminución de turgencia en

las células de la hoja. El ABA es la hormona de senescencia de las plantas superiores y un indicador de que un tejido u órgano vegetal está “envejeciendo” por un proceso normal o por estar sometido a un factor estresante (15,17,18).

3.1.5.1.2.3.3 Mecanismo de respuesta de las plantas a condiciones de excesiva humedad en el suelo

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

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

Asimismo, es necesario puntualizar que los rizomas y algunas raíces adventicias principales, permanecen viables, aunque latentes, aún en un suelo inundado, debido a que sus células tienen la habilidad de entrar en un ritmo metabólico mínimo que puede realizarse con muy poco oxígeno y el cual es obtenido del que se encuentra disuelto como gas en el agua del suelo. Este mecanismo de absorción de

oxígeno es el que permite llevar a cabo el cultivo de arroz en el sistema de inundación. Por otro lado, en el caso de la caña de azúcar, la dominancia apical de los tallos o culmos que crecen fototrópicamente constituye un sumidero para las hormonas reguladoras de crecimiento, conduciendo a los rizomas y yemas subterráneas a entrar en latencia y permanecer así, mientras dure la dominancia apical (15,17,18).

3.1.5.1.2.3.4 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.

3.1.5.1.2.3.4.1 Estrés leve

Cuando las reducciones en el tonelaje no van más 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.

3.1.5.1.2.3.4.2 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.

3.1.5.1.2.3.4.3 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).

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

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.

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).

3.1.5.1.2.4 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).

3.1.6 Maduración natural

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

Para mantener niveles de rendimiento satisfactorios se recomienda:

- 3.1.6.1 Utilizar variedades de caña con alto potencial de acumulación de sacarosa en condiciones naturales y cosecharlas en el momento óptimo de maduración.
- 3.1.6.2 Hacer las aplicaciones de riego teniendo en cuenta el balance hídrico en el suelo.
- 3.1.6.3 Suprimir los riegos después de los diez meses de edad del cultivo para favorecer el agostamiento natural.
- 3.1.6.4 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.

3.1.6.5 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 fabrica.

Es posible obtener niveles altos de sacarosa mediante la selección de variedades apropiadas y prácticas culturales adecuadas (1, 3, 22, 23).

3.1.7 La maduración inducida

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

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

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

En Guatemala las primeras pruebas en el uso de madurante, en este caso glifosato, se hicieron en la primera parte de los años 70, pero ni las pruebas, ni el uso comercial cobró vigencia sino hasta finales de la década de los 80, cuando en Estados Unidos y Colombia ya era comercial el uso de glifosato como madurante y se vislumbraba el aparecimiento 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.

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.

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

3.1.7.1 Balanceador de Auxinas (no registrado aún)

3.1.7.2 Quizalofop (registrado como Assure o Targa)

3.1.7.3 Haloxifop (registrado como Galant)

3.1.7.4 Cletodim (registrado como Select)

Aún cuando el madurante no es la panacea milagrosa, que pueda revertir un mal manejo del cultivo, debe recordarse que esta tecnología reviste un potencial que permite mejorar el contenido de

azúcar de cultivares que responden a la aplicación, incrementar la producción de azúcar por unidad de área, reducir el volumen de cogollo que se transportan a la fábrica, adelantar la fecha de inicio de la zafra (primera semana de noviembre en Guatemala), extender el período de duración de la zafra, aún hasta los meses en que inicia la nueva estación lluviosa (abril y mayo para el caso de Guatemala), detener el crecimiento en “mamones y tallos exuberantes presentes en áreas abiertas o con cañas postradas, detener o suprimir la floración, hacer que la caña se mantenga erecta al reducir considerablemente el peso del “cogollo”, mejorar la cosecha mecanizada, promover el secado del material vegetativo, promover una mayor eficiencia del ingenio y mejorar la extracción y procesamiento de los jugos.

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

3.1.8 Importancia en el uso de madurantes

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

La maduración de la caña de azúcar puede ser considerada desde tres puntos de vista, botánico, fisiológico y económico; desde el punto de vista botánico hay que considerar que la caña de azúcar está madura después de la emisión de flores y formación de semillas que puedan dar origen a nuevas plantas. Teniendo en cuenta la reproducción vegetativa, que es la usada en la práctica, la maduración puede ser considerada en un ciclo mucho más corto, cuando las yemas ya están en condición de dar origen a nuevas plantas; desde el punto de vista fisiológico, está se alcanza cuando los tallos logran su potencial de almacenamiento de sacarosa, se 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).

3.1.9 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:

3.1.9.1 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

3.1.9.2 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.

3.1.9.3 Azúcares Reductores

Es suma de fructosa y glucosa presentes en el jugo de la caña

3.1.9.4 Peso Torta

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

3.1.9.5 Acidez

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

3.1.9.6 pH

Es la concentración de iones hidronio en una solución

3.1.9.7 Dextranas

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

3.1.9.8 Sacarosa

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

3.1.9.9 Glucosa

Es un azúcar monómero perteneciente al grupo aldehído.

3.1.9.10 Fructuosa

Es un azúcar monómero perteneciente al grupo cetónico.

3.1.9.11 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.

3.1.9.12 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)

3.1.10 Técnicas de aplicación de madurantes

3.1.10.1 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.

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.

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^a, según las condiciones meteorológicas esperadas durante el período comprendido entre la aplicación y la cosecha.

Variedad	Sal isopropilamina de glifosato (lt/ha) ^b		Sal monoammonio de glifosato (kg/ha) ^d		Fluazifop-p-butil (lt/ha) ^e	
	Época seca ^c	Época lluviosa	Época seca ^c	Época lluviosa	Época seca ^c	Época lluviosa
CC 85-92	0.7	0.9	0.30	0.38	0.4	0.5
CC 84-75, MZC 74-275	0.8	1.0	0.34	0.42	0.5	0.6
V 71-51, CC 85-68	1.0	1.3	0.42	0.55	0.6	0.7
PR 61-632, Co 421	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).

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 ²	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).

3.1.10.2 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 (Figura 1) (19, 20, 21).

3.1.10.3 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).

3.1.10.4 Selección del equipo de aplicación

Para la selección de un proveedor se tienen en cuenta la capacidad del tanque de mezcla y el rendimiento del equipo de aspersión, los costos de aplicación, el estado de los equipos de aplicación, el equipamiento de las aeronaves con el sistema de posicionamiento global (GPS) y la existencia de una póliza de garantía por daños a terceros (19, 20, 21).

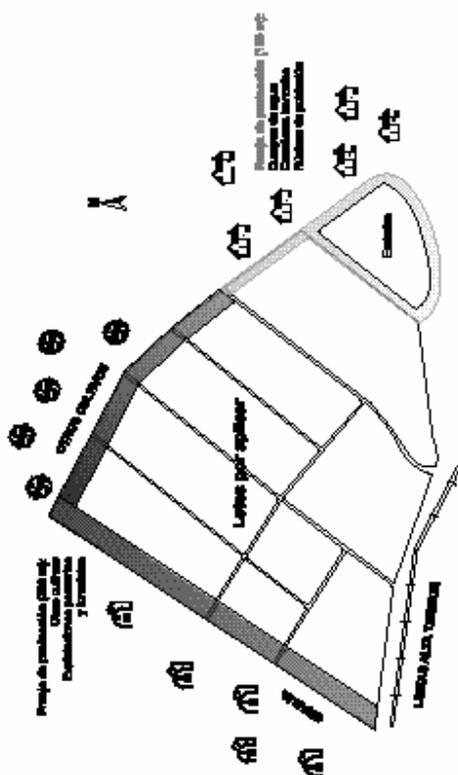


Figura 1. Ejemplo de plano o croquis de un pante, necesario para realizar la aplicación de madurantes.

3.1.10.5 Consideraciones generales a tomar en cuenta de acuerdo a la aeronave a seleccionar

Para aviones livianos la pista debe tener por lo menos 310 m de longitud más 50 m de franja de protección en cada una de las cabeceras (total 410 m) y un ancho mínimo de 10 m más 10 m de franja de protección a cada lado (total 30 m).

Los helicópteros deben contar con pistas de 100 m de longitud por 12 m de ancho para despegar, y los helipuertos deben tener 20 x 20 m.

En sitios sin protección vegetal es necesario remojar el suelo frecuentemente para evitar la formación de nubes de polvo durante el despegue o el aterrizaje de las aeronaves. Las pistas deben tener la

correspondiente licencia ambiental, una plataforma para el lavado de los equipos y la infraestructura necesaria para el tratamiento de las aguas residuales contaminadas con agroquímicos (19, 20, 21).

3.1.10.6 Aprovisionamiento o llenado de tanque de aplicación de la aeronaves

El aprovisionamiento de las aeronaves y la preparación de la mezcla del madurante son responsabilidades de los auxiliares de pista y deben estar vigilados por el supervisor de campo, quien debe asegurar que se cumpla con cada una de las actividades de la programación del vuelo. Cualquier modificación a estas normas se debe registrar como observación en la planilla de programación de vuelos. El aprovisionamiento de las aeronaves se debe realizar con el motor apagado (19, 20, 21).

3.1.10.7 Revisión de boquillas

Antes del despegue de la aeronave, el supervisor de campo debe verificar el correcto funcionamiento de las boquillas para lo cual debe solicitar al piloto que coloque en funcionamiento el equipo de aspersión. En caso de detectar fallas en alguna de ellas se debe proceder a su ajuste o al cambio de la misma. Dicha novedad debe ser registrada como observación en la planilla de programación de vuelos (19, 20, 21).

3.1.10.8 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 pantes 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.

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).

3.1.10.9 Aeronaves de mayor demanda para aplicación de madurantes en caña de azúcar:

Dentro de las aeronaves con mayor demanda en el aplicación de madurantes se tiene los helicópteros, avionetas y aviones livianos los cuales se presentan en las figuras 2, 3 y 4.



Figura 2. Fotografía de helicóptero utilizado en la aplicación de madurante.



Figura 3. Fotografía de avioneta utilizada en la aplicación de madurante.



Figura 4. Fotografía de avión liviano utilizado en la aplicación de madurante.

3.1.10.10 Boquillas utilizadas para aspersiones aéreas de madurantes

De acuerdo a la aeronave seleccionada, así será el sistema de aspersión, en la figura 5 y 6 se muestran 2 de los sistemas más comunes



Figura 5: aspersor rotatorio típico de las avionetas



Figura 6: Boquilla rotativa típico del avión liviano.

3.1.10.11 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. Aprovechamiento 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).

3.1.10.12 Recomendaciones básicas para la aplicación de madurantes

3.1.10.12.1 Recomendaciones básicas para el personal

La seguridad es lo más importante cuando se manejan agroquímicos. Las personas encargadas de la aplicación de madurantes en caña de azúcar, leer y entender las recomendaciones que aparecen en las etiquetas de los productos, cumplir en todo momento con las normas establecidas para el manejo de los productos, en el momento de la adquisición observar que el producto tenga registro vigente como madurante, el transporte y el sitio de almacenamiento deben ser seguros y adecuados para el tipo de producto que se utilice, la dosificación debe ser precisa y no deben quedar residuos en el campo ni en los sitios de trabajo, los equipos de aplicación se deben mantener en óptimas condiciones de funcionamiento y calibración con el fin de evitar riesgos para la salud de los operarios y hacer aplicaciones eficientes y seguras eliminando problemas de fugas, derrames, contaminación y pérdidas del producto que puedan causar daños a la comunidad y al medio ambiente, la ropa y los elementos de protección personal deben ser adecuados y coincidir con las recomendaciones que aparecen en la etiqueta de los productos y en todo momento se deben cumplir las recomendaciones de higiene personal que son exigidas después de haber manipulado productos químicos (8, 10, 11, 13).

3.1.10.12.2 Recomendaciones básicas para el responsable de la aplicación

Es responsable de coordinar directamente las labores de aplicación y velar por que se cumplan todas las normas vigentes. Deberá hacer la recomendación escrita para la aplicación del madurante, incluyendo el nombre comercial o técnico del producto, dosis y volumen de aplicación, equipo y fecha de aplicación. Igualmente está en capacidad de suspender la aplicación en cualquier momento si las condiciones meteorológicas no son apropiadas.

3.1.10.12.3 Recomendaciones básicas para el supervisor de campo

Dirigir y supervisar las labores del personal auxiliar de campo. Debe estar lo suficientemente capacitado en el manejo y aplicación de agroquímicos.

3.1.10.12.4 Recomendaciones básicas para el Auxiliar de campo

Es la persona encargada de marcar los lotes donde se van a aplicar los madurantes. Debe tener instrucción en el manejo y aplicación de agroquímicos y podrá, eventualmente, colaborar en la preparación de las mezclas de los productos (8, 10, 11, 13).

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.

3.2.1.1 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/litro 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 (CO₂), nitrógeno (N), fósforo (P) y agua (H₂O) (15).

3.2.1.2 Sal monoamonio de glifosato (Round-up Max)

Es un producto sistémico cuyo ingrediente activo es la sal monoamonio de N-(fosfometil) 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 continúa 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.

3.2.1.3 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).

3.2.1.4 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.

3.2.1.4.1 Biotición

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.

3.2.1.4.2 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.

3.2.1.5 Modo de acción de los ciclohexadiones (Sethoxydim, Nabú, Poast, Clethodim, Select), y los ariloxifenoxipropionatos (Fluazifop-butil, Fusilade, Haloxifop-metil, Gallant, Quizalofop-etil, Assure y Targa)

Los ciclohexadiones (sethoxidim y clethodim) y los ariloxifenoxipropionatos (fluazifop, haloxifop y quizalofop) son dos grupos de herbicidas que actúan inhibiendo la síntesis de lípidos en las células jóvenes y meristemáticas de plantas gramíneas. Debido a su rápida translocación hacia el “ápice del tallo” y “los meristemas intercalares” finales (últimos dos o tres nudos del tallo), el tejido nuevo nace amarillento tornándose necrótico por lo que las hojas del cogollo se pueden separar fácilmente del resto de la planta, observándose la base del cogollo podrida. Asimismo, en los subyacentes dos o tres entrenudos se forma un “anillo necrótico” producto de la muerte de las células de los meristemas intercalares presentes en éstos.

Su modo de acción se caracteriza por la inhibición de la enzima acetil CoA carboxilasa, localizada en los cloroplastos, bloqueando con ello la reacción de acetil CoA para convertirse en malonil CoA y deteniendo así la producción de ácidos grasos que son muy usados en lugares de alta actividad meristemática, como es el caso del cogollo (ápice) y los nudos (meristemas intercalares) de las gramíneas.

La acción madurante en la caña de azúcar esta dada por la subdosis que se emplea, ejerciendo su acción sobre el cogollo, el cual muere, y sobre los nudos superiores, en los cuales se forman anillos necróticos. Esta acción se traduce en una detención total del crecimiento, al morir el meristemo terminal, con lo que la planta, debido a que su crecimiento cesa, acumula sacarosa ocasionando su maduración. En pocas palabras, al privar de ácidos grasos a las zonas meristemáticas se llega a destruir la permeabilidad de las membranas, causando la necrosis que se observa en el cogollo y en los nudos superiores del tallo.

La muerte del cogollo y de los meristemos intercalares superiores “rompe la dominancia apical” ocasionando que las hormonas naturales, que regulan el crecimiento y desarrollo vegetativo normal de la planta, se transloquen hacia las yemas laterales incitándolas a romper su dormancia e iniciar el desarrollo vegetativo lo que provoca la formación de los brotes laterales conocidos como “lajas”. Esto conduce a que la planta no deba permanecer mas de cinco o seis semanas después de haberse aplicado, en este caso el herbicida con función de madurante.

Con la difusión amplia que ha tenido la práctica de aplicación de madurante en los últimos años, especialmente glifosato, han surgido una serie de interrogantes que necesitan responderse para hacerla mas eficiente y segura. Para el caso de Guatemala, y Centro América en general, principalmente se cuestiona lo relativo a la interacción del madurante con la floración, la interacción del madurante con la humedad del suelo y la respuesta que se pueda obtener al aplicarse en condiciones de estrés hídrico. Estos tres aspectos se analizan seguidamente.

3.2.1.6 Sal trimetilsulfonio de N-(fosfonometil) glicina (Touchdown)

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.

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 via floema y xilema hacia los puntos de mayor crecimiento.

Se acumula en los meristemas tanto de la partes aéreas como también en raíces, rizomas, tubérculos o estolones. Este movimiento es rápido hacia dichos meristemas 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.

En la figura 7 se muestra la región cañera del país.

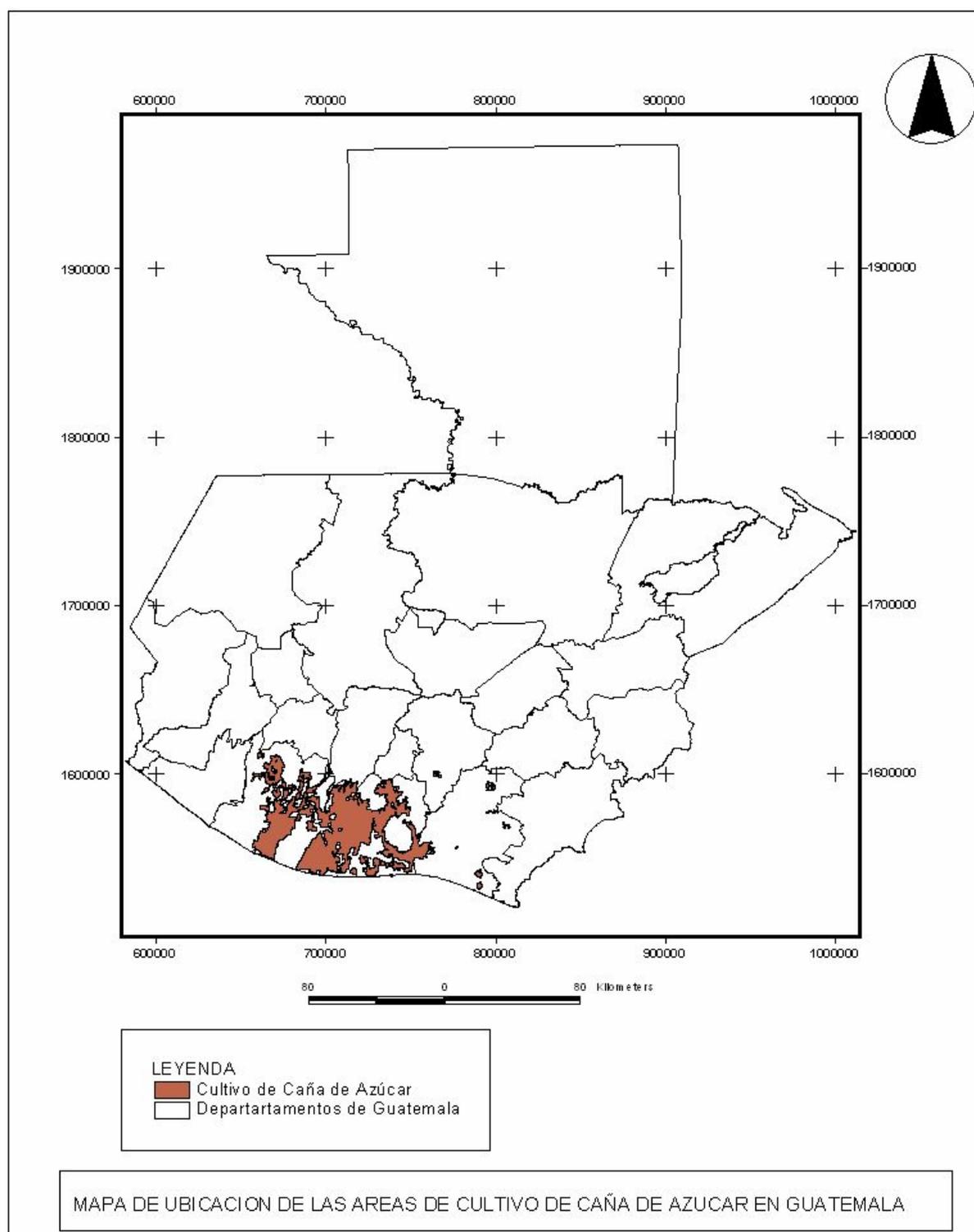


Figura 7. Zona de producción de caña de azúcar.

Fuente : el Autor

IV. OBJETIVOS

4.1 General

Recapitular las experiencias en el proceso de optimización de la maduración inducida, en el cultivo de la caña de azúcar (*saccharum officinarum* L.) en Guatemala.

4.2 Específicos

- 4.2.1 Dar a conocer como evolucionó la técnica de maduración inducida en el cultivo de caña de azúcar (*saccharum officinarum* L.), en Guatemala.
- 4.2.2 Dar a conocer el o los ingredientes activos de madurantes más utilizados de acuerdo a su consistencia y eficiencia en el incremento de libras de azúcar por tonelada de caña de azúcar (*saccharum officinarum* L.).
- 4.2.3 Documentar los aspectos técnicos a tomar en cuenta para asegurar el éxito de la aplicación de madurantes en el cultivo de la caña de azúcar (*saccharum officinarum* L.), de acuerdo a la experiencia adquirida en Guatemala.

V. METODOLOGÍA

La presente investigación se desarrolló para facilitar la sistematización y la interacción relación-análisis de la información generada con el uso de madurantes en el cultivo de la caña de azúcar . Se utilizaron para el levantamiento de la información las siguientes fases

5.1 Fase de Gabinete

Esta fase se realizó mediante el análisis de los registros de la información generada en CENGICAÑA y el Ingenio San Diego, básicamente se revisaron los trabajos de investigación sobre el tema agregándole la experiencia personal adquirida. Esta fase también se realizaron consultas y entrevistas con especialistas de la materia.

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

Se consultaron los programas de aplicación de madurantes de los principales ingenios del país y se revisaron trabajos relacionados con aplicación de madurantes, seleccionándose la información más consistente.

5.3 Análisis, interpretación y presentación de resultados

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

En esta fase se elaboró una base de datos, que permitió elaborar cuadros comparativos y gráficas, lo que permitió visualizar el comportamiento de la distintas variables relacionadas con la maduración inducida de la caña de azúcar y sus diversas técnicas de aplicación a lo largo de 15 años.

VI. RESULTADOS Y DISCUSIONES

6.1 Evolución de la técnica de maduración inducida en caña de azúcar en Guatemala

Las primeras pruebas utilizando madurante surgieron gracias a la inquietud de profesionales de otros países, principalmente de Colombia, de implementar y tecnificar el cultivo de caña de azúcar y permitir que el país pudiera en ese momento ser competitivo en producción, pero mas allá de este deseo estaba poner en práctica una técnica que significaba en grandes extensiones una mejor y mayor recuperación de capital, lo cual traducido en ganancias permitió una mayor inversión en la industria azucarera.

El madurante con mayores estudios y el primero en uso en Guatemala fue el Glifosato, y los primeros ensayos se realizaron en varios ingenios dentro de los que resalta el Ingenio Pantaleón y la Unión, los cuales se montaron a finales de la década de los setenta (1970).

No obstante los resultados promisorios obtenidos, la práctica de uso de madurantes se empezó a implementar a nivel comercial a finales de la década de los ochenta (1980), práctica muy rezagada ya que en países como EEUU y Colombia, ya era de conocimiento común el uso y técnica de aplicación de Glifosato como madurante.

Cabe mencionar que para esta época, el madurante se aplicaba básicamente en el primer tercio de zafra. Actualmente esto ha cambiado ya que ha ido en incremento la utilización de madurantes, en áreas y en el momento de aplicación, tal punto que en la mayoría de ingenios se llega moliendo caña aplicada con madurante, todo el primero y segundo tercio de zafra y en algunas ocasiones se han visto en la necesidad varios Ingenios de aplicar en parte del tercer tercio de cosecha o bien durante el tiempo que dure la zafra.

En la década de los ochenta en los países antes mencionados ya se trabajaba con productos diferentes al glifosato, los cuales se constituían como fuertes contendientes, productos como Etefon, y Melfluidida. Productos con los cuales se empezó a experimentar en Guatemala a mediados de la década de los noventa.

Es importante resaltar que cuando en Guatemala se daba inicio a la utilización de Glifosato como madurante, en países como EEUU, el uso de Fluazifop y Setoxydim era tan común como el uso de dicho producto.

En conclusión se podría decir que la evolución de la técnica de aplicación de madurantes en nuestro país se ha visto influenciada por los acontecimientos internacionales y no ha surgido como inquietud de investigadores nacionales, pero la aplicación y adaptación de la tecnología si ha sido un éxito debido en gran medida a nuestros técnicos, pues la utilización de madurantes ha sido una de las técnicas más impactantes en el incremento de la producción.

Un dato interesante es el que en el 60-70 % del área aplicada con madurante se utiliza Glifosato, en cualquiera de sus presentaciones (líquido, sólido o con radical azufre), estando el porcentaje restante por Fluazifop y en menor escala Etefón y otros.

6.2 Madurante con resultados más consistentes

Después de consultar varios trabajos y compararlos con la experiencia adquirida se seleccionaron los más consistentes, por ejemplo Barneond (3), en la zafra 1994–1995, en aplicaciones realizadas en la variedad CP-721210, con avión y el ingrediente activo ethephon en dosis de 0.71 Lts / há, obtuvo un incremento de 5 Kg. de azúcar / ton., lo cual pone en evidencia los beneficios de aplicar madurantes.

En otro ensayo realizado en la misma temporada de cosecha y con la misma variedad, pero utilizando el ingrediente activo Glifosato en dosis de 0.90 Lts / há más Carrier como encapsulante, aplicado con avión, encontró un incremento 7.72 Kg. de azúcar / ton., en tanto que utilizando Glifosato sin encapsulante, se incrementó 3.18 Kg. de azúcar / ton., estos resultados se resumen en el cuadro 5.

Cuadro 5. Resumen de resultados de los ensayos realizados en la zafra 94 –95

Producto	Dosis / ha	Edad al corte	Kg. azúcar / ton.
Ethephon	0.71 lts	16.5 meses	Incremento de 5 kgs az/t
Glifosato + carrier	0.90 lts	12.5 meses	Incremento de 7.72 kgs az/t con respecto al testigo.
Glifosato	1.30 lts	12.5 meses	Incremento de 3.18 kgs az/t con respecto al testigo

Fuente: Barneond (3).

En la zafra 1995 – 1996, aplicaciones en la variedad CP-722086, con avión y Glifosato a dosis de 1.40 Lts / há, incrementó 11.37 Kg. de azúcar / ton . En este mismo ensayo se utilizó Fluazifop, en dosis de 0.60 Lts / há , he incrementó en 10.46 Kg. de azúcar / ton. El producto faz en dosis de 5.00 Lts / há, incremento 9.56 Kg. de azúcar / ton, y por ultimo Ethephon en dosis de 1.45 Lts / há ,incremento 5 kilogramos de azúcar por tonelada. Lo anterior se resume en el cuadro 6.

Discutir efecto de Ethephon en la caña (es inibidor de floración y no madurante) y califico como retardador de floración, este producto a la fecha es muy poco usado y su uso se restringe a áreas altamente floreadoras.

Dicho producto resulta ser errático pues en Guatemala se dice que la inducción floral se marca entre el 15 y el 25 de agosto de cada año, momento en el cual debiera de aplicarse este producto pero en este periodo de tiempo no es completamente demarcado por lo que acertar al memento exacto para su aplicación es sumamente difícil.

Cuadro 6. Resumen de Resultados de la variedad CP-722086 durante la zafra 95 – 96

Producto	Dosis/ha	Kg. de azúcar / ton	Incremento Kg. de azúcar / ton
Glifosato	1.40 Lts	102.27	11.37
Fluazifop	0.60 Lts	101.36	10.46
Ethephon	1.45 Lts	95.90	5.00
Faz	5.00 Lts	100.45	9.56
Testigo	----	90.90	

Fuente: Barneond (3).

De acuerdo a los resultados anteriores se determina que Glifosato es el mejor respecto a los otros tres productos. Siguiendo con un análisis de los resultados de los otros ensayos se logra establecer (cuadro 7), que Glifosato resulta ser el ingrediente activo que mejores resultados da en la variable

incremento de Kg. de azúcar por tonelada de caña molida. Todos los ensayos comparados con un testigo, incluso se obtienen resultados de ingredientes activos que lejos de incrementar el rendimiento de azúcar, se obtiene una disminución de la misma respecto a testigo.

Cuadro 7 Resumen de resultados diferentes ensayos evaluados de la temporada de cosecha 1996 a 1999.

Variedad	Periodo de cosecha	Producto	Dosis/ha	Kg. de azúcar / ton	Incremento Kg. de azúcar / ton
CP-721210	1996-1997	Top – Cop	8.57 lts	104.54	0.00
		Top – Cop + Urea	8.57 lts + 28.57 lbs	107.12	2.58
CP-722086		Balancer	13.09 lts	111.81	3.63
CP-721547	1997- 1998	Glifosato	1 Lts	100.00	16.82
		Faz	4.30 lts	99.09	15.91
CP72-2086*		Top – Cop + Urea	8.60 lts +29 lbs	126.97	- 6.86
		Top – Cop + Urea	8.60 lts +29 lbs	130.14	- 3.69
		Balancer	9 lts	123.75	- 10.08
		Balancer	9 lts	129.26	- 4.57
CP72-2086	1998- 1999	Glifosato	1.00 lts	132.36	9.73
		K – Fol	1.5 kg	129.00	6.37
		Faz – Fol	4.30 lbs	128.30	5.67

Fuente: Barneond (3).

* = Aplicación con helicóptero, los demás fueron aplicados con avioneta.

En la actualidad se ha visto un fortalecimiento hacia el desarrollo del ingrediente activo Sal monoamonio de glifosato (Round-up Max), por lo que podría llegara a igualar o superar a las moléculas Sal isopropilamina de glifosato, y Sal trimetilsulfonio de n-(fosfonometil) glicina, y pasaran algunas temporadas para que la industria azucarera se familiarice con su uso.

La figura siguiente (Figura 8), resume apropiadamente los resultados generados a nivel de toda la zona cañera durante los últimos 15 años, tomando como base datos de fuentes fidedignas

COMPARATIVO DE RENDIMIENTOS L.A.T.C. A NIVEL INDUSTRIA

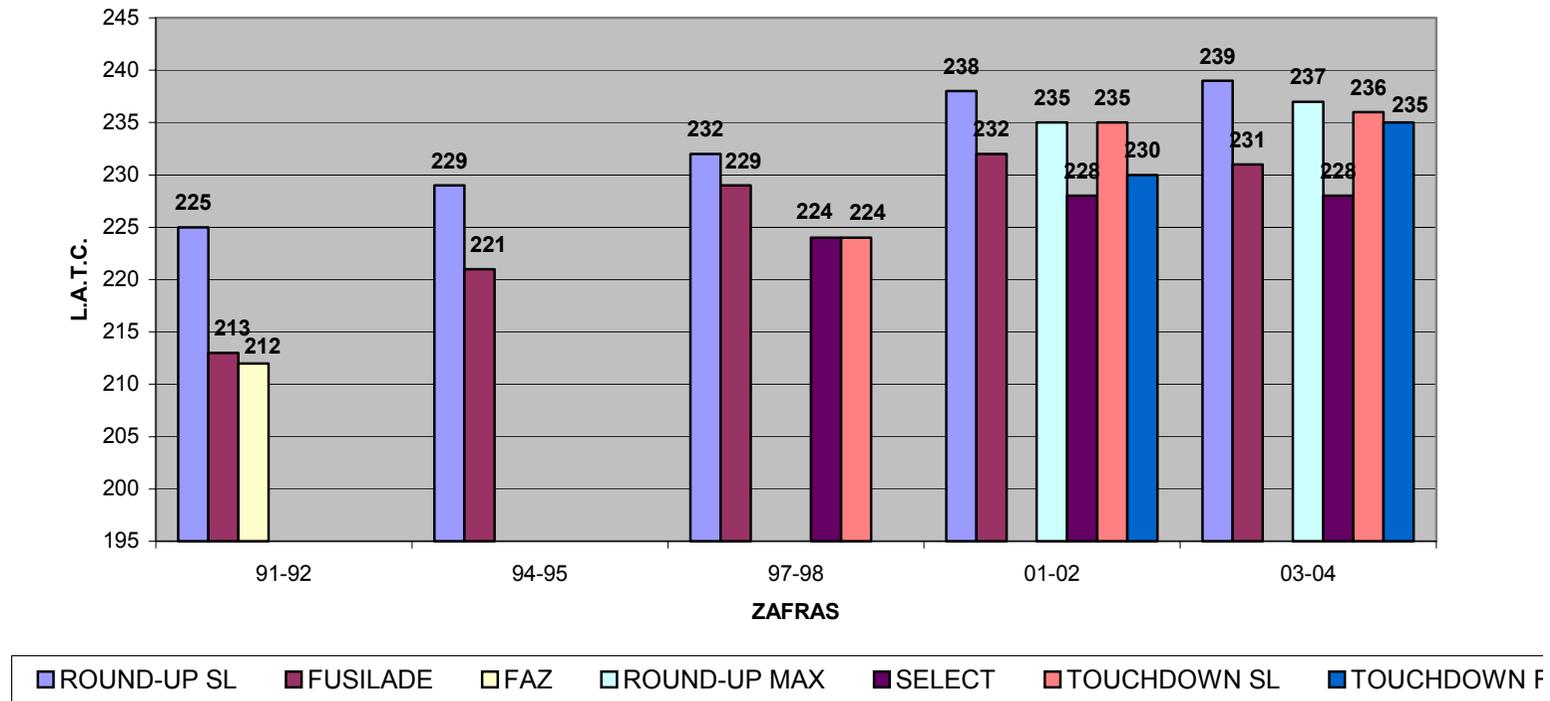


Figura 8. Resumen comparativo de rendimiento en libras de azúcar por tonelada de caña molida, de 15 años.

De acuerdo a la figura 8, las moléculas que mejores rendimientos han brindado a través de los años son Round-up sl y Touchdown sl. Las cuales según la misma figura pueden llegar a ser desplazados por Round-up Max y Touchdown Forte.

6.3 Técnica de aplicación eficiente

6.3.1 Comparación avión versus helicóptero en cuanto a la aplicación

En el cuadro 8, se anotan algunos criterios para seleccionar el equipo de aplicación de madurantes en Guatemala.

Cuadro 8. Condiciones técnicas y equipos utilizados para la aplicación aérea de madurantes en caña de azúcar en Guatemala.

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		Boquillas de cono hueco / Boquillas de abanico plano	Aspersor rotatorio (Micronair)	Boquilla rotativa
Presión de aplicación	psi	25 - 35	25-35	10 - 20
Tamaño de gotas	micras	300 - 400	300-350	250 - 300
Gotas	no./cm ²	20-25	20-25	15 - 30
Volumen de aplicación	lt/ha	15-20	15-18	5

FUENTE: El Autor

La técnica de aplicación con avión tuvo su inicio utilizando Micronair y luego evolucionó al uso de Boom con boquillas de abanico plano (con ángulos de 85-120 grados), y boquillas CP NOZLE.

Respecto a la decisión de usar Avión o helicóptero tomando como referencia la eficiencia de aplicación es indiferente, pues los resultados de la aplicación es muy bueno con ambas opciones, recomendándose el uso de avión en áreas planas y con pocos obstáculos naturales (árboles, cercos, etc) y artificiales (Poste, cableado eléctrico, torres de radio, etc). El uso de helicóptero es ideal para áreas con topografía irregular y terrenos con presencia de obstáculos naturales y artificiales.

6.3.2 Temporización zafra

La temporización de la zafra es uno de los temas importantes y que debe de tomarse en cuenta como parte de la técnica para obtener una aplicación eficiente.

Según la experiencia de campo se divide en 3 tercios, basado en el comportamiento de la maduración natural, floración, acorchamiento, humedad del suelo, etc.

Tomando en cuenta los factores anteriormente enunciados queda de la siguiente forma:

6.3.2.1 Primer tercio (de noviembre a diciembre).

Maduración natural	=	Baja
Floración	=	Alta
Acorchamiento	=	Bajo
Humedad del Suelo	=	Alta

6.3.2.2 Segundo tercio (de enero a febrero).

Maduración natural	=	Alta
Floración	=	Baja
Acorchamiento	=	Medio
Humedad del Suelo	=	Baja o nula

6.3.2.3 Tercer tercio (de marzo a abril).

Maduración natural	=	Baja
Floración	=	Nula
Acorchamiento	=	Alta
Humedad del Suelo	=	Nula

Como ya se menciona en la primera parte de los resultados, la aplicación de madurante se realiza en el primer tercio de zafra, pero esta práctica ha venido ganando terreno, a tal punto que la mayoría de ingenios muelen caña tratada con madurante, tanto en el primer, como en el segundo tercio. Es mas en algunas ocasiones se aplica madurante en todo o en la mitad del periodo del tercer tercio.

6.3.3 Dosis por variedad

En el cuadro 9 se muestran las dosis recomendadas para cada variedad, según los resultados obtenidos durante 15 años de aplicación.

Cuadro 9. Dosis de madurante (reguladores de crecimiento) recomendada por cada 100 toneladas de caña ^a, según las condiciones meteorológicas esperadas durante el período comprendido entre la aplicación y la cosecha.

Variedad	Sal isopropilamina de glifosato (lt/ha)	Sal monoamonio de glifosato (kg/ha)	Sal trimetilsulfonio de n-(fosfometil) glicina	Sal trimetilsulfonio de n-(fosfometil) glicina (Forte)	Cletodim	Fluazifop
CP-722086	0.9-1.40	0.55-0.10	0.9-1.4	0.60-1.20	0.40-0.60	0.40-0.60
CP-731547	0.9-1.40	0.50-0.60	0.9-1.4	0.60-1.20	0.40-0.60	0.40-0.60
CP-721312	0.8-1.30	0.40-0.55	0.8-1.3	0.50-1.10	0.30-0.50	0.30-0.50
CP-721210	0.7-1.20	0.40-0.55	0.7-1.2	0.50-1.10	0.30-0.50	0.30-0.50

Fuente: El autor

Tal como se observa en el cuadro anterior, la dosis dependerá tanto de la variedad así como del producto.

El periodo entre la aplicación y la cosecha se describe en el cuadro siguiente (cuadro 10).

Cuadro 10. Periodos pertinentes de espera entre la aplicación de madurante y la cosecha, Guatemala.

Producto	Semanas después de la aplicación al corte (SDAC)
Round-up sl	7-8
Round.up Max	6-8
Fusilade	4-6
Selec	4-6
Touchdown sl	7-8
Touchdown Forte	6-8

Fuente: El autor.

El cuadro anterior ilustra de forma objetiva que el tiempo de espera entre aplicación de madurante y la cosecha, dependerá del producto aplicado, siendo Fusilade y Selec los que presentan los tiempos más cortos para la cosecha.

6.3.4 Condiciones meteorológicas

Las condiciones meteorológicas que se necesitan para obtener una buena aplicación e acuerdo a las condiciones en Guatemala se resumen en el cuadro 11, por lo que para realizar aplicaciones es necesario apearse lo más posible a condiciones meteorológicas óptimas.

Cuadro 11. Condiciones meteorológicas al momento de la aplicación de madurantes en caña de azúcar, en Guatemala.

Condición	Valor o indicador	Equipo de medición o registro
Humedad relativa	> 80% con rango ideal de 80-100%	Higrómetro
Temperatura máxima	< 30 °C	Termógrafo, termómetro e Higrómetro.
Velocidad del viento	Un máximo de 7-10 Km / hr.	Anemógrafo o anemómetro
Dirección del viento	Que no afecte cultivos vecinos	Veleta

Fuente: El autor

6.3.5. Monitoreo de vuelos

El monitoreo de vuelo es una práctica sumamente importante en el proceso de la aplicación de madurantes, pues es parte necesaria de cualquier bitácora de aplicaciones, y consiste en montar un ensayo transversal a la línea de vuelo, en un punto representativo del área a aplicar el cual debe ubicarse en un área diferente al inicio o al final del pante o lote comercial .

Se colocan en bases especiales, tarjetas hidrosensibles a la altura del techo del cultivo, tratando de que con varias pasadas de la aeronave se complete todas las tarjetas. El número de pasadas a monitorear como mínimo es de tres, debiendo de colocar una tarjeta a cada 1.5 mts. Al realizar el cálculo de las tarjetas a colocar en el ensayo, este estará relacionado con el ancho de faja o de aplicación del aparato, dato que se multiplica por tres (número de pasadas mínimos ha monitorear).

Posteriormente se recolectan las tarjetas, debiendo numerarlas para poder identificar sin ningún problema centros y traslapes. De estas tarjetas se analiza al azar un centímetro cuadrado, con la ayuda de una lupa o estereomicroscopio y se determina el número de gotas / cm^2 y el tamaño promedio de la gota en micrones.

Estos datos son analizados estadísticamente mediante la obtención del coeficiente de variación, el cual para tener certeza de una buena aplicación en el campo no debe de ser mayor de 20%.

Se debe evaluar el número de gotas tanto en los centros, como en los traslapes y tomarse en cuenta para fines de calibración del equipo y así puede corregir problemas como boquillas, ángulo de ataque (de aplicación), velocidad de vuelo, altura de vuelo, volumen de aplicación por hectárea, etc.

El procedimiento anterior constituye por así decirlo, la radiografía de la aplicación y nos da una idea clara y fidedigna de la calidad de la aplicación del madurante y por la importancia que reviste esta actividad se recomienda establecer o montar un ensayo para cada aplicación.

VII. CONCLUSIONES

- 7.1 La evolución de la utilización de madurantes en el cultivo de la caña de azúcar ha sido un proceso dinámico. Inicialmente las aplicaciones de madurante se realizaban únicamente el primer tercio de zafra (noviembre, diciembre). Actualmente esto ha cambiado a tal punto que en la mayoría de ingenios se llega moliendo caña tratada con madurante, todo el primero y segundo tercio de zafra (noviembre a febrero), y en algunas ocasiones se han visto los Ingenios en la necesidad de aplicar durante el tercer tercio de zafra (marzo a abril).
- 7.2 A lo largo de 15 años el único ingrediente activo consistente y con los mayores incrementos de libras de azúcar por tonelada de caña molida (239 Lb. Azúcar en la zafra 2003-2004), es la Sal isopropilamina de glifosato (Round-Up sl). Actualmente la casa comercial propietaria de dicha molécula ha desarrollado un nuevo ingrediente activo, que por sus resultados a nivel comercial se le asemeja al Round-Up sl (pero aun con una producción de varias libras de azúcar menos, por tonelada de caña), este ingrediente activo es la Sal monoamonio de glifosato (Round-Up Max). La casa comercial propietaria de ambas moléculas ha decidido promocionar con mayor intensidad esta ultima molécula por lo que se prevé que podría llegar a igualar e incluso superar a todos los productos que se utilizan, para lo cual deberán pasar aun varias temporadas de zafra. La Sal trimetilsulfonio de N-(fosfonometil) glicina (Touchdown), ha mostrado buena respuesta en rendimiento, pero ha salido del mercado para ser sustituida por Touchdown Forte. El uso del ingrediente activo Cletodim (Selec), y Fluazifop-butyl (Fusilade), queda restringido para áreas o lotes que tienen cultivos de hoja ancha en los lotes vecinos.
- 7.3 Los aspectos técnicos a tomar en cuenta para asegurar el éxito de la aplicación de madurantes en el cultivo de la caña de azúcar (*saccharum officinarum* L.), de acuerdo a la experiencia adquirida son: Elección del equipo de aplicación aérea, tomar en cuenta la temporización de la zafra, elección de dosis de acuerdo a la variedad, condiciones meteorológicas y monitoreo de vuelo e ingrediente activo a utilizar, pero lo cual se deberá consultar las tablas propuestas en los resultados del presente documento.

VIII. RECOMENDACIONES

- 8.1 Aplicar madurantes con un volumen de 4-5 galones /ha. (de 15 a 19 l / ha), arriba de esto se incrementan los costos y abajo se concentra el producto, pudiendo presentarse problemas de sobredosis y daños posteriores de rebrotes.
- 8.2 Se recomendará el uso como madurantes de las moléculas Sal isopropilamina de glifosato (Round-up sl), y Sal monoamonio de glifosato (Round-Up Max), de acuerdo a la consistencia de los datos obtenidos producto de su aplicación.
- 8.3 Dar una mayor participación e investigación a nuevas moléculas, tales como la de los productos Round-Up Max y Touchdown Forte sl concentrado.
- 8.4 Hacer un estudio para determinar que molécula o moléculas, de los diferentes productos que se utilizan como madurantes, provocan menor impacto ambiental.

IX. BIBLIOGRAFÍA

1. Arcila Arias, J. Villegas T., F.; 2003. Madurantes en caña de azúcar. Manual de procedimientos y normas para su aplicación. Cali, Cenicafé. 66p. (Serie técnica No.32)
2. Arcila Arias, J. 1986. Maduración química de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.). En Tecnicaña. El cultivo de la caña de azúcar. Memorias del curso dictado en Cali, 28 julio-1 agosto, 1986, Cali, Tecnicaña. p. 323-347.
3. Barneond adrover, H. R. 2002. Reseña histórica de las aplicaciones de madurante en el ingenio Tierra Buena, Nueva Concepción Escuintla. Periodo1994-1999. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 57p.
4. Buenaventura Osorio, C. E. 1986. Evaluación de la aplicación de madurantes químicos en caña de azúcar en Colombia. Cali, Documento de Trabajo, no. 090, CENICAÑA. 20 p.
5. CENGICAÑA ,2004 Composición Varietal de la Agroindustria azucarera en Guatemala, Boletín Técnico No. 1. Guatemala. 60p.
6. Cronquist, A. 1981. An integrated system of classification of flowering plants. New York, EE.UU, Columbia University Press. 1262 p.
7. Cuéllar Cano, J.; Castro, J.C.; y Arana D., C. H. 1997. Bioestimulantes de biomasa y rendimiento aplicados en la época de maduración de la caña con y sin glifosato. En: Cuarto Congreso de la Sociedad Colombiana de Técnicos de la Caña de Azúcar, Cali, 24-26 septiembre, 1997. Memorias Tecnicaña 1:401-409 P.
8. Daniels, J.; Roach, B. T. 1987. Taxonomy and evolution, in sugarcane improvement through breeding. Holanda, Elsevier. P. 7-84.
9. Franz, J. E.; Mao, M. K.; y Sikorski, J. A. 1997. Glyphosate: A unique global herbicide. ACS Monograph 189. American Chemical Society. Washington, DC. 653 p.
10. ICA (Instituto Colombiano Agropecuario). 1996. Aplicación de Insumos Agrícolas. Manual Técnico, Resolución no. 1068 de 1996. Santafé de Bogotá, D.C. 48 p.
11. _____. 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, D.C. 43 p.
12. ICA Seccional del Valle del Cauca. 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. Boletín Agroquímica. 8 p.

14. Ministerio de Salud Pública de Colombia. 1991. Decreto No. 1843 del 22 de julio de 1991. Se reglamenta el uso y manejo de plaguicidas. En: Diario Oficial de La República de Colombia, Santa Fe de Bogotá, 26 de agosto de 1991. 24 p.
15. Monsanto. sf. Roundup herbicida de Monsanto. Manual técnico. 16 p.
16. Ortiz Garzo J. M. 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, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 80p.
17. Pérez, S.; Calero, C. X.; y Jaramillo, J. M. 2000. Manejo de envases plásticos de agroquímicos. Carta Trimestral CENICAÑA 22(4):25-27 p.
18. Portillo. F. N: 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 – EPSA. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 65p.
19. Rodríguez, N. M. sf. Calidad de agua y agroquímicos. Agronort insumos agropecuarios. <http://www.agronort.com/informacion/calidagua.html>
20. Vásquez Quintero, H. y Arcila Arias, J. 1984. Análisis de la aplicación comercial de madurantes en el Ingenio Risaralda. En: Primer Congreso de la Sociedad Colombiana de Técnicos de la Caña de Azúcar, Cali, 28-30 noviembre, 1984.
21. Ventura Hernández, R. R. 1997. Estimación de pérdidas de sacarosa en caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) por efecto de la infestación de barrenadores. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 36p.
22. Villegas T., F. 1992. Avances de la investigación con madurantes. Cali, Documento de trabajo, no. 265. CENICAÑA. 18 p. 50 CENICAÑA
23. _____ y Arcila A., J. 1995. Uso de madurantes. En: Cassalett, C.; Torres, J.; e Isaacs, C. (eds.). CENICAÑA. El Cultivo de la Caña en la Zona Azucarera de Colombia. Cali, CENICAÑA. p. 315-335.
24. _____; Torres, J. S.; Besosa, R.; Gaviria, L. F.; y Domínguez, J. C. 2000. Respuesta de la variedad CC 85-92 a los madurantes. En: Quinto Congreso Colombiano de La Asociación de Técnicos de la Caña de Azúcar (Tecnicaña), Cali, 4-6 octubre de 2000. Documento de trabajo no. 442, CENICAÑA. 21 p
25. Yang, S. J. 1981. Study on chemical ripening of sugarcane in the Cauca Valley. Cali. Documento de trabajo no. 047, CENICAÑA. 22 p.
26. _____ y Buenaventura Osorio, C. E. 1984. Aplicación de madurantes químicos para aumentar la producción de azúcar en el Valle del Cauca, Cali. Documento de trabajo, no. 045, CENICAÑA. 29 p.