

XI. MADURACIÓN DE LA CAÑA  
DE AZÚCAR Y FLORACIÓN DE LA  
CAÑA DE AZÚCAR Y SU MANEJO

# MADURACIÓN DE LA CAÑA DE AZÚCAR

Gerardo Espinoza\*

## INTRODUCCIÓN

El cultivo de caña de azúcar muestra durante su desarrollo cuatro etapas: *Iniciación, macollamiento, elongación o gran crecimiento y maduración* (Castro y Montúfar, 2004, Bezuidenhout, *et al.*, 2003). La etapa de *iniciación* comprende generalmente desde la germinación hasta 45 días después de la siembra. La etapa de *macollamiento* tiene una duración promedio de tres meses. La *elongación* ocurre en un periodo de seis meses; esta etapa es la más importante en términos de crecimiento del cultivo. La última etapa es la de *Maduración* con una duración media de 45 días.

En la etapa de *maduración* la planta de caña disminuye su ritmo de crecimiento y comienza a acumular sacarosa en el tallo. En general, el proceso de *maduración* es gradual hasta llegar a un punto máximo, después del cual el contenido de sacarosa en los tallos de caña declina. Según Buenaventura, (1986), la concentración de sacarosa en el jugo depende de varios factores como la oscilación de la temperatura entre el día y la noche (15°C), la humedad del suelo o precipitación (30-100 mm/mes) y la luminosidad (11.5-12.5 horas luz) entre 4 y 6 semanas antes de la cosecha. Esta etapa es clave por ser la etapa de la concentración del producto industrial final de interés: la sacarosa. En la mayoría de los países productores de caña de azúcar, las condiciones climáticas marcan la época de cosecha. En Guatemala, las condiciones ambientales antes mencionadas ocurren entre noviembre y abril que es el período donde se realiza la zafra.

En muchos países productores de caña se utiliza la maduración artificial, que consiste en proporcionar al cultivo ciertas condiciones para inducir su maduración, cuando éstas no se dan naturalmente, como, la reducción en la humedad del suelo, oscilaciones en la temperatura (Deuber, 1998; Caputo *et al.*, 2008; Alexander, 1973 y Legendre, 1975). En Guatemala la caña de azúcar que se cosecha al principio de la zafra tiene en general baja concentración de sacarosa, por cuanto que está iniciando su maduración y aún conserva un alto contenido de humedad en los tallos. La aplicación de maduradores permite la mayor acumulación de sacarosa en ese período inicial de la zafra. Conforme avanza el período de cosecha, se obtienen valores mayores de concentración de sacarosa en los tallos y especialmente en febrero se obtiene una mejor

---

\* Ing. Agr., M.Sc. Especialista en Malezas y Madurantes de CENGICAÑA. [www.cengicana.org](http://www.cengicana.org)

acumulación, debido a que las condiciones del clima coinciden con las indicadas anteriormente como favorables para la acumulación de sacarosa en ese período del año.

En términos generales, la aplicación de maduradores forma parte de la estrategia de cosecha para inducir incrementos en la recuperación de azúcar. Los resultados indican que la aplicación de maduradores ayuda a anticipar la *maduración* de la planta, mejorando la concentración de sacarosa (Villegas, 2003; Caputo *et al.*, 2008 y Leite, 2005).

## MADURACIÓN NATURAL DE LA CAÑA DE AZÚCAR

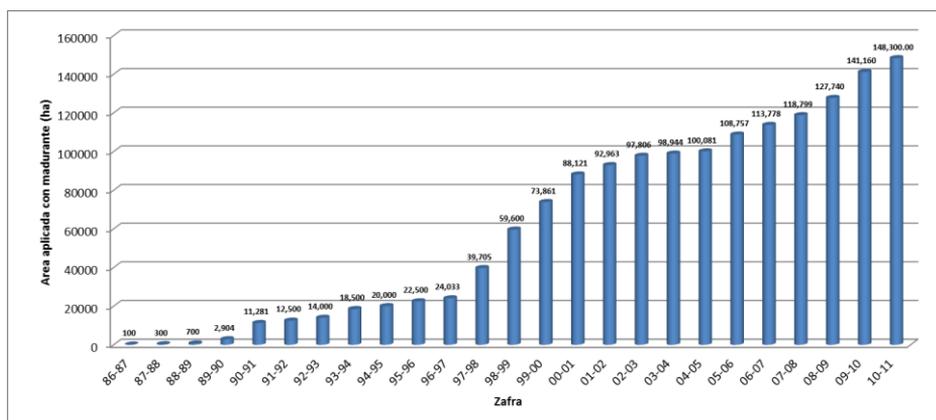
La maduración natural de la caña de azúcar, se inicia cuando se disminuye la tasa de crecimiento del tallo, hay menor humedad en el suelo y bajas temperaturas (Almeida, *et al.*, 2003); sin embargo, en Guatemala esto es un problema cuando se inicia la zafra, debido a que no se cumplen esas condiciones porque el exceso de humedad en la planta y el suelo hacen que la planta continúe creciendo.

El contenido de sacarosa en la caña es el resultado de un balance entre la cantidad total sintetizada y la cantidad hidrolizada por la actividad de las invertasas ácidas y neutras (Venkataramana y Naidu, 1993). La invertasa ácida es una enzima soluble que se localiza en el apoplasto y la vacuola de las células de la planta (Hatch *et al.*, 1963). Su función es hidrolizar y transportar la sacarosa desde las hojas hasta los tallos durante el crecimiento. La mayor actividad de esta enzima cuyo funcionamiento se da en pH 5.0-5.5 ocurre en el periodo de crecimiento y disminuye en la etapa de maduración. La invertasa neutra, por su parte, es una enzima soluble, que presenta su máxima actividad a pH 7 y se localiza en el citoplasma de los tejidos maduros, por lo que está relacionada con la acumulación de sacarosa en los tallos; su máxima actividad se presenta en el periodo de maduración (Hatch *et al.*, 1963; Batta y Singh, 1986). A medida que existe mayor maduración del tallo de caña de azúcar, la acumulación de sacarosa se incrementa y los niveles de azúcares reductores van disminuyendo en los entrenudos (Azevedo, 1981). En el proceso de fabricación, la calidad del jugo se define en función de un alto contenido de sacarosa y un bajo contenido de azúcares reductores (Glucosa y Fructosa) (Chen, 1991). Desde el punto de vista industrial, Fernandes, 1985; Salgado, 1995, y De Stefano, 1985, indican que al inicio de la maduración de la caña de azúcar y durante el transcurso de esta, los valores mínimos de los parámetros tecnológicos deben oscilar entre 80-85 por ciento de pureza del jugo, Pol % caña entre 14.4 y 15.3 y azúcares reductores < 1 por ciento.

## APLICACIÓN DE MADURADORES

En Guatemala antes del uso de la tecnología de la aplicación de maduradores, el rendimiento de azúcar promedio fue de 72 kg azúcar/tonelada de caña (Buenaventura, *et al.*, 1992, Buenaventura, 2000). Hay que tomar en cuenta que en esa época se cultivaron otras variedades, la zafra era de duración diferente (entre diciembre y marzo), los procesos de corte, transporte y extracción del azúcar han sido modificados. Todos estos factores también son causa del mejoramiento de la productividad en general.

De 1980 a 1990, se iniciaron pruebas aisladas de maduradores en diferentes ingenios en Guatemala, con diversos productos incluyendo entre estos el Glifosato. Estas pruebas consistieron en aplicaciones a variedades tempranas cosechadas entre diciembre y enero. Se utilizaron dosis de entre 0.75 y 1.25 l/ha. En la zafra 1990-1991 se aplicaron maduradores en 13,000 hectáreas cultivadas con caña de azúcar. En la zafra 2010-2011 el área con aplicación registró un incremento a 148,300 hectáreas, equivalentes al 82 por ciento del total de la caña cosechada (Figura 1). En esa zafra, el Glifosato fue el madurador más utilizado y se reportó en más del 80 por ciento del total de área aplicada. Actualmente se están evaluando productos diferentes buscando algunas ventajas en comparación con el Glifosato, tales como menor efecto herbicida en variedades de caña susceptibles al producto y menos residuos indeseables en el ambiente.



**Figura 1. Tendencia en el área de aplicación de maduradores desde 1986 a 2011 en la Agroindustria Azucarera de Guatemala**

## MADURADORES QUÍMICOS

Los maduradores químicos en su mayoría son compuestos con propiedades herbicidas que, aplicados en dosis pequeñas inhiben, fomentan o alteran de alguna manera procesos fisiológicos en la planta de la caña de azúcar (Lavanholi *et al.*, 2002 y Almeida *et al.*, 2003).

La aplicación de maduradores tiene como objetivo alterar o modificar las condiciones morfológicas y fisiológicas de la planta de caña de azúcar. Estas modificaciones pueden ser cualitativas y cuantitativas, tales como: anticipa la maduración, retarda o inhibe el desarrollo vegetativo, promueve el incremento de sacarosa, sobre todo en los entrenudos inmaduros cercanos al ápice del tallo, permite un corte de punta más alto, disminuye el material extraño que va del campo a la fábrica (Trash), provoca el desecamiento temprano del follaje y mejora la eficiencia de la cosecha y la calidad de la materia prima (Villegas, 2003; Lavanholi *et al.*, 2002 y Almeida *et al.*, 2003).

Los maduradores químicos modifican el desarrollo de la planta en el nivel de las enzimas que catalizan la acumulación de sacarosa, lo cual favorece mayor concentración de azúcar en el tallo. En general la *maduración* es un proceso fisiológico resultado del balance entre la fotosíntesis (proceso que produce azúcares) y la respiración (proceso que consume azúcares). Estos compuestos son capaces de modificar la morfología y fisiología de la planta, paralizando el desarrollo vegetativo de la caña de azúcar, induciendo a la translocación y el almacenamiento de azúcares, principalmente sacarosa, pudiendo ocasionar modificaciones cualitativas y cuantitativas de la producción (Castro, 1999).

Los productos maduradores más utilizados en Guatemala son herbicidas químicos no selectivos, que contienen como ingrediente activo la molécula de Glifosato. También se utilizan herbicidas selectivos graminicidas y en los últimos tres años, CENGICANÑA juntamente con los ingenios azucareros de Guatemala, han investigado una serie de opciones entre estos maduradores no herbicidas, tales como nutrientes con base en potasio y boro entre otros reguladores de crecimiento. En la actualidad se están buscando opciones de mezclas de herbicidas con elementos mayores o menores, tales como boro (B) y potasio (K) (Espinoza y Corado, 2011).

Los maduradores basados en elementos como boro, potasio y fósforo son una opción, debido a la función fisiológica de cada elemento nutricional, que tienen un efecto aditivo en la acumulación de sacarosa; para el caso de boro, tiene la función de acelerar el transporte de la molécula de sacarosa en el floema, de las hojas al tallo, a través del complejo sacarosa-borato. Otras funciones del boro son: síntesis de paredes celulares, lignificación de la pared celular, estructura de

paredes celulares, metabolismo de carbohidratos, metabolismo de ARN y ácido indol acético (AIA), respiración, metabolismo fenólico, metabolismo de ascorbato e integridad de la membrana plasmática. Dentro de las funciones anteriores, dos son bien definidas en el proceso fisiológico de la planta: síntesis de la pared celular e integridad de la membrana plasmática (Cakmak&Römheld, 1997).

Para el caso del potasio, la función según Taiz y Zeger, (2006), es que juega un papel muy importante como catalizador dentro del metabolismo de las plantas y generalmente se encuentra donde existe transferencia de energía dentro de la planta.

El potasio participa en la formación y neutralización de ácidos orgánicos. Además juega un papel muy importante en la acumulación y consumo de azúcares dentro de la planta durante el desarrollo vegetativo (Lazcano-Ferrat, 2000 e IPNI, 2007).

El papel del potasio en la transporte de azúcares es esencial, ya que la deficiencia de este nutriente limita el transporte (movimiento) de azúcares desde la hojas (punto de fabricación) a los lugares de almacenamiento. El movimiento de los azúcares recién formados en las hojas se realiza a una velocidad aproximada de 2.5 centímetros por minuto en las plantas de caña (Lazcano-Ferrat, 2000 e IPNI, 2007).

La deficiencia de fósforo no ha manifestado tener un efecto significativo en el transporte de azúcares, la deficiencia de nitrógeno tiene un efecto intermedio, mientras que la falta de potasio puede bajar la eficiencia de transporte de azúcares por debajo de la mitad (Lazcano-Ferrat, 2000 e IPNI, 2007).

Actualmente, tanto en Guatemala como en otros países productores de caña de azúcar (EE.UU., Brasil, Colombia, Perú, Ecuador, Australia), la tendencia del uso de maduradores con base en fertilizantes y reguladores de crecimiento es mayor utilizando productos como: nitrato de potasio, nitrato de potasio + boro, carbonato de potasio, compuestos de radicales carboxílicos, reguladores del crecimiento como: Trinexapac Etil, Ethepon y mezclas entre herbicidas y/o fertilizantes (K, P, Si y B) o reguladores del crecimiento (CENICAÑA, 2011; Legendre, 1975; Almeida, 2003, Leite, *et al.*, 2008,; Leite y Crusciol, 2008; Leite, *et al.*, 2010,; Crusciol, *et al.*, 2010, Leite, 2010, Toro y Jara, 2011). Dentro de este contexto, esta tecnología promisoría aún necesita mayor investigación, debido a que los ensayos realizados no han mostrado los resultados esperados, comparados con los maduradores tradicionales Glifosato y graminicidas (CENICAÑA, 2011).

## **Productos químicos utilizados como maduradores y sus mecanismos de acción**

Los maduradores químicos se dividen en dos tipos: retardadores del crecimiento e inhibidores del crecimiento. En Guatemala se utilizan ambos. Entre los retardadores del crecimiento que se utilizan se pueden mencionar el Ethephon y el Trinexapac Etil, que son reguladores del crecimiento aplicados en países productores de caña. Entre los inhibidores del crecimiento se encuentran el Glifosato, el Fluazifop-butil y el Cletodim. Los dos últimos son utilizados en menor medida en Guatemala.

A continuación se describen algunas características químicas y diferencias estructurales así como el mecanismo y modo de acción de los principales maduradores empleados en la agroindustria cañera guatemalteca y en otros países productores de caña de azúcar.

**Glifosato:** El Glifosato es el ingrediente activo de varias marcas de herbicidas. Existen diferencias estructurales dentro de la molécula del Glifosato con base en ácido. La molécula puede contener isopropilamina (IPA) como sal del ácido desplazando el OH como en el caso de Roundup (Hartzler, 2000). La molécula de Glifosato N (fosfonometil) glicina, el ingrediente activo de Roundup, está relacionada con la glicina, el aminoácido esencial más simple que existe. Otro caso ocurre cuando la molécula de la sal es sustituida por el sulfosato que contiene trimetilsulfonio (TMS) como sal del ácido, lo que sucede en el producto Touchdown, en consecuencia, los dos tienen diferente peso molecular (Hartzler, 2000).

El Glifosato penetra en el follaje y se transporta por el floema junto con los productos de la fotosíntesis y se acumula en los meristemos (Yamada y Castro, 2007). La hipótesis más aceptada sobre el mecanismo de acción del glifosato como herbicida, plantea la inhibición de la acción de dos enzimas: la mutasa corísmica y la deshidratasa prefénica, que intervienen en la síntesis del ácido coríasmico el cual es, a su vez, precursor de tres aminoácidos exclusivos que sintetizan solamente las plantas: el triptófano, la tirosina y la fenilalanina (Jaworski, 1972; Zablotowicz and Reddy, 2004). Así mismo, el Glifosato parece reducir los niveles de invertasa ácida en cañas tratadas, lo cual reduce la tasa de desdoblamiento de la sacarosa en glucosa y fructosa (Hatch *et al.*, 1963).

**Fluazifop-butil y Cletodim:** Fluazifop-butil es un graminicida basado en propionato de 2-(4-(5-trifluorometil-2-iloiloxipiridina)fenoxi)-N-butil. Este madurador inhibe el crecimiento al restringir el volumen del parénquima sin jugo y promover la acumulación de sacarosa en 30 días aproximadamente (Crusciol *et al.*, 2010).

El mecanismo de acción herbicida del Fluazifop-butil es igual al del Cletodim. Estos productos son capaces de inhibir la biosíntesis de lípidos específicos para gramíneas y actúan en el nivel de las enzimas que inhiben la acción de la carboxiltransferasa que pertenece al complejo enzimático de la Acetil-CoA Carboxilasa, y este a la vez bloquea la formación de triglicéridos que se combinan para formar las membranas celulares (Crusciol *et al.*, 2010).

Tanto el Fluazifop-butil como el Cletodim se acumulan en las zonas de crecimiento afectando los tejidos meristemáticos en los nudos de los tallos y yemas, lo cual detiene el crecimiento en 48 horas. Los tejidos jóvenes en expansión y los meristemas resultan ser los más sensibles (Crusciol *et al.*, 2010).

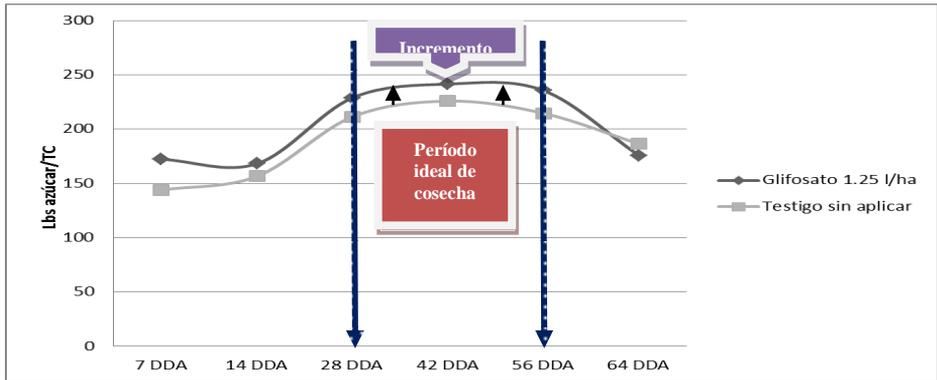
Estos productos se aplican en áreas donde existen cultivos vecinos de especies sensibles a la aplicación de Glifosato, en dosis iguales a las que se utilizan como madurador de la caña de azúcar o cuando se requiere un intervalo entre aplicación y cosecha más corto.

En Guatemala, cuando se usan estos productos se cosecha entre 30 y 40 días después de la aplicación porque en períodos mayores se puede deteriorar la caña. Lo anterior, debido a que el mecanismo de acción destruye el punto de crecimiento, con lo cual se pierde la dominancia apical y ocurre la brotación de yemas laterales, proceso que desdobra una porción de la sacarosa en glucosa y fructosa. Además, ocurre necrosis progresiva en los anillos de crecimiento de los entrenudos apicales (Crusciol *et al.*, 2010).

## APLICACIÓN DE MADURADORES EN LA CAÑA DE AZÚCAR

### **Efecto general de la aplicación de un madurador**

El resultado final más importante de la aplicación de un madurador es el incremento de la concentración de sacarosa en el jugo, siempre que se haga dentro del período adecuado establecido para cada madurador. La Figura 2, muestra la curva de maduración para el Glifosato en la variedad CP88-1508; ahí se observa el periodo de mayor acumulación de sacarosa, el cual es el intervalo ideal de cosecha.



**Figura 2.** Curva de maduración de la variedad CP88-1508 en un régimen de aplicación y no aplicación de Glifosato como madurador. (Espinoza *et al.*, 2011b) DDA= Días después de la aplicación

### Otros efectos de la aplicación de maduradores

**Desecamiento temprano del follaje:** Los efectos visuales de desecamiento por la aplicación de maduradores herbicidas se observan alrededor de 15 días después de la aplicación (Figura 3). Este desecamiento o efecto “quemante” es importante, ya que hace más eficiente la quema del cultivo al momento de la cosecha, y disminuye el volumen de material extraño (trash) que se transporta a la fábrica. Debido a las condiciones de humedad residual de la época lluviosa, esta práctica es particularmente importante al inicio de la zafra. Las evaluaciones de otros productos maduradores no herbicidas muestran que no poseen el efecto quemante.



**Figura 3.** Comparación de maduradores con y sin efecto desecante. Fotografía Manuel Corado, Ingenio Madre Tierra, 2011

**Mayor contenido de sacarosa:** Como ya se mencionó, la finalidad de aplicar maduradores es inducir el aumento de la concentración de sacarosa. Generalmente, en los entrenudos apicales la concentración de sacarosa es baja y la de glucosa y de fructosa son mayores, todo esto en comparación con los entrenudos basales e intermedios (Barreto, 1991). La glucosa y la fructosa reducen la pureza del jugo. La eficiencia en el uso de maduradores está directamente relacionada con la eficiencia en la recuperación final de sacarosa en la fábrica (Barreto, 1991).

**Mayor altura de corte:** Cuando se aplica madurador, la altura de corte puede estar definida por el efecto del madurador. Debido a que el madurador aumenta la concentración de sacarosa en los entrenudos apicales del tallo, el corte de la punta es más alto con el consecuente aprovechamiento de mayor materia prima para la fábrica (Villegas, 2003).

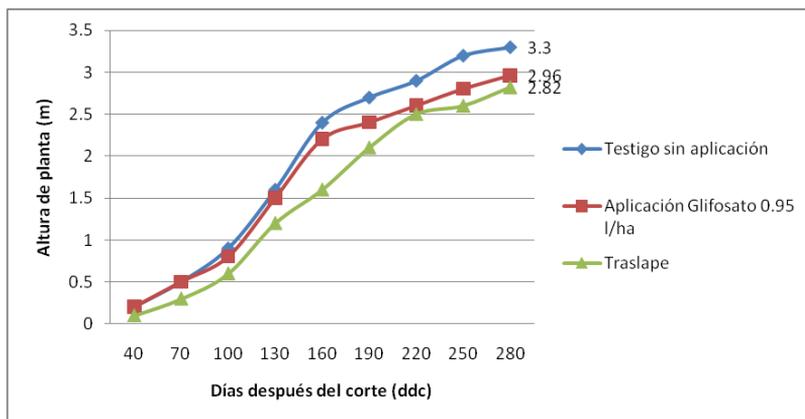
**Efectos herbicidas en la planta de caña de azúcar:** La aplicación de Glifosato disminuye el tamaño de los entrenudos sin causar efecto necrótico, lo cual se puede observar entre 15 y 30 días después de la aplicación. Para el caso de la aplicación de Fluazifop-butil y Cletodim aparecen anillos necróticos que se desarrollan a partir de los anillos de crecimiento de los entrenudos jóvenes del tallo, normalmente hasta el punto de quiebre natural, lo que permite el despuntado químico entre cuatro a seis semanas.

En la Figura 4 se muestran los diferentes efectos de maduradores: se observa acortamiento de entrenudos, follaje amarillo, aspecto de “quemado o desecado” (4A); así mismo se aprecia necrosis de la base de entrenudos apicales (4B), y se advierten efectos similares a los de Fluazifop-butil (4C).



**Figura 4.** A) Aplicación de Glifosato a la variedad CP72-2086, 27 días después de la aplicación (dda). B) Efecto del graminicida Fluazifop-butil 12.5 EC en la variedad Mex82-114, 31 dda. C) Efecto de Cletodim 12 EC en la variedad Mex 82-114, 9 dda

**Efecto de la aplicación de maduradores sobre el rebrote:** En la Figura 5 se muestran los resultados de un estudio (CENGICAÑA, 2010), donde se observa que una sobredosificación (como la que ocurre en el traslape) a variedades susceptibles al Glifosato, como CP88-1165 en plantía, origina una serie de efectos adversos en el desarrollo normal del cultivo como la altura de planta. La diferencia en altura de la planta entre lo aplicado y no aplicado podría representar una diferencia en edad de 30 días a lo largo del ciclo de vida del cultivo afectando de esta manera la producción de caña (CENGICAÑA, 2009).



**Figura 5. Efecto de sobredosificación de madurador Glifosato en caña de azúcar variedad CP88-1165, plantía. Ingenio Pantaleón, 2009**

Otro efecto que se puede observar del madurador es la inhibición del crecimiento en franjas de aplicación, esto puede deberse a la altura de vuelo de la nave que puede provocar una sobredosificación y también al estado fisiológico del cultivo al momento de la aplicación (Figura 6).



**Figura 6. Franjas con inhibición de crecimiento del rebrote después de la cosecha en un área aplicada con madurador**



**Figura 7. Clorosis foliar en rebrotos después del primer corte, por el transporte de Glifosato a las raíces en la variedad susceptible CP88-1165**

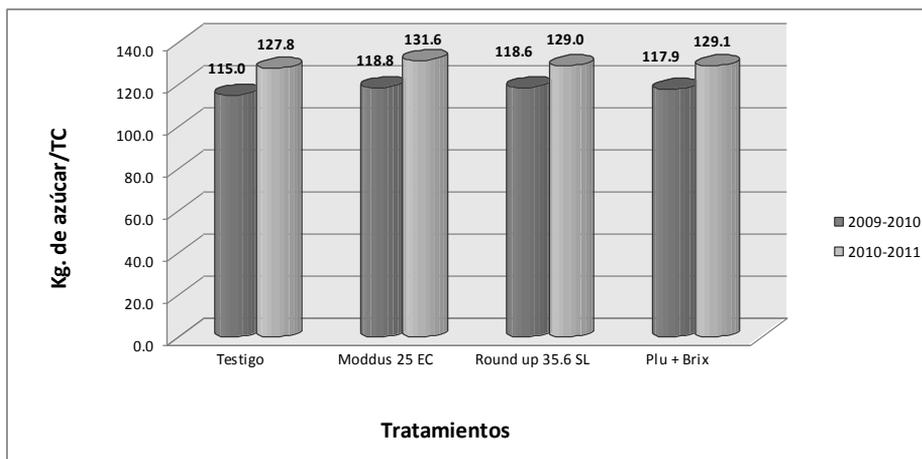
Aunque los rebrotos frecuentemente emergen entre 20 y 30 días después del corte, estos pueden presentar clorosis foliar (pérdida de clorofila) y efectos násticos como plantas con enrollamiento hacia abajo (hiponastia) o arriba (epinastia), plantas que con estos efectos muy comúnmente mueren (Figura 7).

### **Beneficios en la producción**

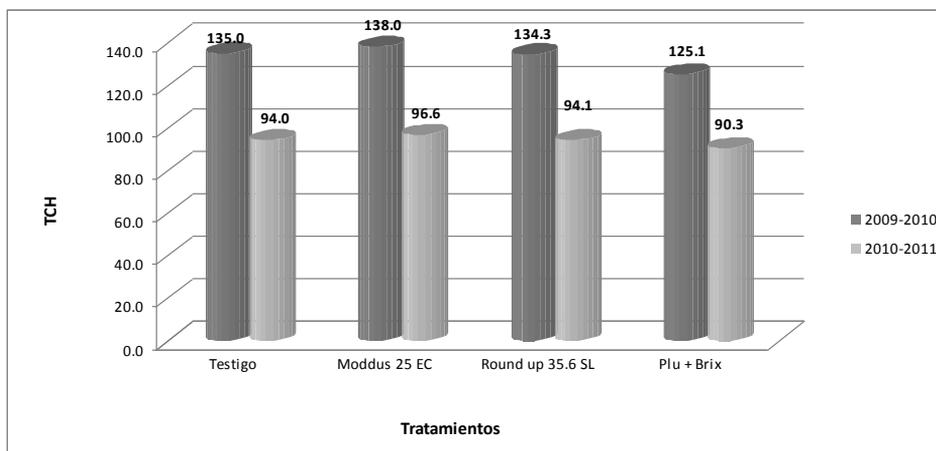
El uso de la tecnología de maduradores es otro de los factores importantes en los costos de producción de azúcar, debido a que el contenido de azúcar con base en el peso fresco es un factor determinante de los costos de producción de azúcar y la rentabilidad industrial. Esto debido a que los costos variables, incluidos la cosecha, transporte y costos de molienda son relacionados con la cantidad de caña requerida para producir cada tonelada de azúcar (Morgan *et al.*, 2007). El empleo de maduradores químicos para acelerar el proceso de acumulación o incremento de sacarosa es una tecnología, de relativamente bajo costo y actualmente rentable. El potencial es el de obtener hasta 450 kg de azúcar/ha extra, imputable a la aplicación de la tecnología de maduradores. Con los precios actuales se requiere incrementar aproximadamente 83 kg de azúcar/ha imputable a la aplicación de madurador, para poder pagar la inversión de la aplicación.

En la Figura 8 se muestra que con la aplicación de madurador existe mayor producción de azúcar por unidad de peso de caña (kg de azúcar/tonelada de caña), comparada con la producción de azúcar en caña sin madurador (Espinoza, 2011a). En promedio general, en ambos años se obtienen entre 270

a 493 kg de azúcar/tonelada de caña extra, por la aplicación del madurador comparado con el testigo sin aplicar. Según este estudio, el uso de maduradores es rentable de acuerdo con el costo por la aplicación, corte, alce y transporte. En la Figura 9 se muestra la tendencia de la producción de caña por unidad de área (toneladas de caña por hectárea) del mismo experimento, el cual muestra que no hubo reducción en el peso de caña para los maduradores Moddus (Trinexapacetil) y Roundup (Glifosato) cuando se comparan con el testigo sin aplicación.



**Figura 8. Rendimiento de azúcar por unidad de peso en el cultivo de caña de azúcar en la variedad CP88-1165, en condiciones de aplicación de tres maduradores, en comparación con un testigo sin aplicación**



**Figura 9. Rendimiento de caña por unidad de área en el cultivo en la variedad CP88-1165, en condiciones de aplicación de tres maduradores, en comparación con un testigo sin aplicación**

## **Época de aplicación**

Las aplicaciones de maduradores en Guatemala inician entre septiembre y octubre, para la cosecha en el primer tercio, de mediados de noviembre a mediados de enero. Las aplicaciones de noviembre y diciembre para las cosechas en el segundo tercio (enero-febrero) y aplicaciones en enero y febrero, para cosechas entre marzo y abril.

En Guatemala el periodo entre aplicación de Glifosato y la cosecha oscila entre 40 y 65 días de acuerdo con el tercio de cosecha, a medida que transcurre la zafra es necesario disminuir dicho periodo y las dosis, debido a que las condiciones de maduración natural se presentan en forma progresiva. Es necesaria una coordinación adecuada entre aplicación de madurador y cosecha, para obtener un corte continuo en el momento apropiado, de las áreas aplicadas.

## **Selección de lotes**

Para la selección de lotes a aplicar con madurador químico se requiere del conocimiento de las condiciones de las áreas. Las condiciones para la selección de lotes con caña que no es para renovación, son más extensos, en comparación con aquellos lotes que serán renovados.

Entre las condiciones de selección están:

- Variedades con buena respuesta al madurador
- Variedades con alta producción de caña (>100 TCH)
- Plantaciones sin estrés por humedad, enfermedades o plagas
- Topografía que no limite un vuelo seguro de la aeronave
- Lotes sin cultivos vecinos de especies sensibles al producto
- Plantaciones uniformes en cuanto al tamaño de la caña
- Áreas grandes para mejor eficiencia de la aplicación
- Áreas con caña sin acame.

## **Factores que se deben considerar para la aplicación de los maduradores**

**Productividad:** En Guatemala la aplicación de maduradores se planifica de acuerdo con la estimación de la productividad, tipo de suelo, dosis en cada época de aplicación y de los lotes seleccionados, según las condiciones mencionadas arriba. Para el caso del criterio de productividad se calcula una estimación de las toneladas de caña/ha, antes de la aplicación (desde 50 días hasta un día antes de la aplicación). La estimación se hace tomando en cuenta la población, altura y diámetro de cinco muestras por cada 20 hectáreas y el

historial de producción del lote en cuestión. En el menor de los casos se toma en cuenta también el peso de la muestra.

**Suelos:** En suelos arenosos normalmente las dosis son menores que el promedio, el cual es 1.4 l/ha. Los suelos arcillosos favorecen la *maduración* natural y por eso se utilizan dosis menores que las normales al inicio de la zafra.

Los suelos donde se produce caña en Guatemala son de naturaleza variable. Se encuentran suelos de los órdenes Mollisoles, Andisoles, Inceptisoles y Vertisoles (Pérez, 2008). Los suelos Vertisoles tienen la característica de facilitar la *maduración* natural de algunas variedades. Se encuentran en mayor porcentaje en el área del ingenio Tzululá, por lo tanto en esos sitios es menor el uso de maduradores para el tercer tercio (Posadas, 2008). La aplicación de Glifosato en áreas con predominio de suelos arenosos debe considerar el uso de no más de 1.0 l/ha (basado en una producción de 100 toneladas de caña), ya que puede dañarse el rebrote del ciclo subsiguiente.

**Humedad del suelo:** En algunos ingenios se recomienda limitar el riego hacia los 30-45 días antes de la cosecha, con el fin de facilitar a la planta el transporte de azúcares hacia el tallo. Cuando no se cumple con esa recomendación se le puede dar a la planta “una señal” de utilizar el azúcar para continuar su crecimiento y, por lo tanto, disminuir el rendimiento de azúcar en los tallos. Debido a lo anterior, es importante aumentar la dosis de madurador cuando existen condiciones de alta humedad en el suelo (Villegas, 2003).

En el nivel comercial, las dosis de Glifosato que se utilizan en Guatemala pueden variar de acuerdo con el mes de zafra y variedad. Por ejemplo para inicios de la zafra la dosis puede oscilar entre 0.8 y 1.5 l/ha. Puede variar también de acuerdo con la biomasa esperada o estimada del área a aplicar. Cuando se aplica en un área que será renovada, la dosis del producto madurador varía entre 1.25 y 1.75 l/ha. En promedio las aplicaciones de Glifosato oscilan entre 1 y 1.40 l/ha. Para el caso de graminicidas se aplica en un rango de dosis de 0.5 a 0.8 l/ha.

Para obtener los resultados esperados con la aplicación de maduradores se deben tener en cuenta las características agroecológicas de cada zona, producto a aplicar, dosis y época, debido a que en Guatemala normalmente se inician las aplicaciones de maduradores con dosis mayores al promedio y a medida que se avanza en la zafra se van reduciendo. Esto se debe a la reducción gradual del exceso de humedad, por lo cual se favorece la *maduración* natural.

**La variedad y el número de corte (plantía o soca):** Estos aspectos son importantes para definir la dosis. Entre las variedades de caña de azúcar, de mayor uso y más susceptibles a la aplicación de madurador Glifosato, están la CP88-1165 y la CP72-1312, ambas sufren daños principalmente en plantía, los cuales pueden notarse a partir de una dosis de 0.8 l/ha que es una dosis baja. Es importante mencionar que la última variedad no es cultivada en áreas extensas. En caña soca, estas variedades por lo general no presentan daños de consideración probablemente debido a la mayor cantidad de biomasa.

Las variedades CP72-2086 y CP73-1547, entre otras, no presentan problemas por la aplicación de madurador Glifosato en plantía, con dosis entre 1.0 y 1.2 l/ha de Glifosato para producciones de 100 y 120 toneladas de caña/ha respectivamente.

## GENERALIDADES SOBRE LAS APLICACIONES AÉREAS

### **Aeronaves**

En Guatemala los maduradores se aplican con avionetas o helicópteros, estos últimos son los más utilizados debido a que permiten la aplicación en áreas con topografía irregular. Las avionetas se usan en bloques uniformes de gran tamaño (>100 ha), logrando con ello mejor eficiencia en la aplicación.

### **Equipo**

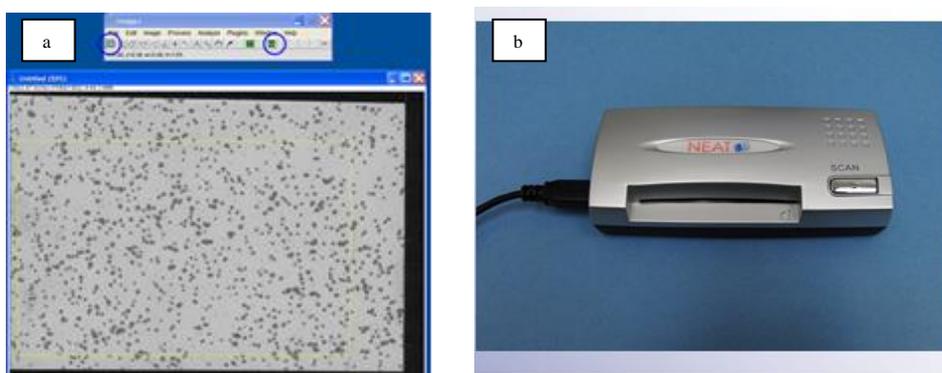
Para las aplicaciones aéreas se utilizan equipos como receptores del Sistema de Posicionamiento Global (GPS) para precisar la ubicación y aplicar sobre el objetivo, esto evita que cultivos o áreas colindantes sean rociadas.

También se utiliza el medidor de flujo (Flow control), la función principal de este dispositivo es fijar la descarga del volumen calibrado, lo cual compensa automáticamente la descarga cuando la velocidad de la aeronave varía.

Otro de los dispositivos empleados es el Termoanemómetro para medir las condiciones climáticas en el transcurso de la aplicación, como la velocidad del viento, temperatura y humedad relativa. Esa información sirve para cambiar los volúmenes de la aplicación y así evitar efectos negativos en el ambiente. En ocasiones, esos registros climáticos permiten explicar variaciones en el efecto del producto aplicado.

Otro de los equipos para medir la calidad de la aplicación de los maduradores es el “Escáner”, el cual se utiliza con el programa DepositScan (USDA), para determinar variables como: Numero de gotas/cm<sup>2</sup>; tamaño de gota (µm), volumen de aplicación y de esta manera obtener el coeficiente de variación (CV%) en cuanto a la cobertura (Figura 10). Estos parámetros tienen la finalidad de determinar posteriormente la calidad de la aplicación.

Algunos ingenios aún utilizan el sistema de lupa para contabilizar las gotas en un centímetro cuadrado, sin embargo, con ese método no se determina el tamaño de gota, el cual es un aspecto importante como se verá más adelante.



**Figura 10. Equipo utilizado para determinar parámetros de calidad de aplicación. a) Tarjeta hidrosensible. b) Escáner para establecer parámetros de calidad de la aplicación**

Otro equipo importante son las boquillas de aplicación. En la Industria Azucarera de Guatemala para las diversas naves se usan las boquillas DG80-02, DG80-03 DG80-04, DG80-05, DG80-06 y CP11TT. Estas boquillas tienen la característica de minimizar la deriva del producto aplicado y manejar el tamaño de las gotas, de tal manera que reducen el tamaño de gotas a menos de 150 µm, así se evita la deriva.

### **Control y normas de las aplicaciones aéreas**

Durante la planificación, los encargados de las aplicaciones aéreas de maduradores, deben coordinar todo el trabajo con las personas responsables de las áreas de cultivo donde se aplicarán. Este personal verifica que no existan complicaciones para la aplicación, tales como cultivos vecinos susceptibles al madurador, cables del tendido eléctrico, árboles, etcétera. Cuando hay algún obstáculo se deja al menos entre 300 y 500 m de franja de seguridad.

Para asegurar una buena aplicación, con anticipación se calibra la aeronave con el fin de cumplir con las normas y estándares de una buena aplicación. Para ello deben contemplarse varios aspectos:

- a. **Anchura de la franja de aplicación.** Ésta, para helicópteros, oscila entre 16 y 20 m, y para avionetas entre 15 y 22 m.
- b. **La uniformidad del tamaño de las gotas, la distribución de las gotas y el número de gotas/cm<sup>2</sup>.** Para algunos ingenios en Guatemala, el número ideal de gotas/cm<sup>2</sup> para el madurador Glifosato y otros oscila entre 15 y 30 gotas/cm<sup>2</sup>. De acuerdo con el tipo de aeronave utilizada, el coeficiente de variación (%) debe ser menor que 30 por ciento.
- c. **El porcentaje de variación en el flujo del volumen de aplicación.** El volumen de agua en la aplicación oscila entre 18 y 30 litros de agua/ha. El volumen de agua definirá la cantidad de gotas que llegan al follaje del cultivo de caña de azúcar. Para medir la cantidad de gotas y calidad de la aplicación se utiliza el equipo de monitoreo en aplicaciones aéreas, el cual consiste principalmente en tarjetas hidro-sensibles, que se colocan en al menos el ancho de tres pases de la aeronave. Esta medición es sola una referencia de la calidad de aplicación.
- d. Por otro lado, para lograr una buena aplicación deben ocurrir ciertas condiciones ambientales favorables, estas son: temperatura < 30°C, humedad relativa > al 60%, velocidad del viento < a 10 km/hr. Se debe evitar aplicaciones con inversión térmica, ya que esa condición favorece la deriva del producto a otras áreas.

La inversión térmica ocurre sobre todo de diciembre a febrero. El fenómeno de inversión térmica se presenta cuando, por las noches despejadas, el suelo se enfría rápidamente. El suelo a la vez enfría el aire que está en contacto, por lo que este se vuelve más denso y pesado en comparación con el que está en la capa superior. Si este fenómeno coincide con la ausencia de viento no se presenta la convección térmica, disminuye la velocidad de mezclado vertical entre las dos capas de aire, y como consecuencia ocurre el arrastre del producto aplicado en áreas vecinas.

## MONITOREO POST-APLICACIÓN Y DURANTE LA COSECHA

Normalmente después de la aplicación de madurador se realizan muestreos pre-cosecha, con el fin de conocer el efecto madurador en la acumulación de

sacarosa y de esta manera planificar la cosecha en su punto de máxima acumulación. Los muestreos precosecha se efectúan en al menos cinco puntos de un lote de 20 ha; en cada estación o punto de muestreo se obtienen cinco tallos molederos cortados continuos en al menos 1 m lineal, o una macolla completa. Cada tallo se corta en trozos de entre 40 y 50 cm de longitud. En el laboratorio se analizan los jugos para determinar brix, pol % caña y azúcares reductores y se calculan los valores de pureza del jugo en porcentaje, rendimiento potencial y comercial (kg de azúcar/tonelada métrica de caña).

## BIBLIOGRAFÍA

1. Alexander, A. 1973. Sugarcane physiology a comprehensive study of the *Saccharum* source-to-sink system. Amsterdam, Holanda. 752 p.
2. Almeida, J. C. V.; Sanomya, R.; Leite, C.F. y Cassinelli, N.F. 2003. Eficiência agronômica de sulfometuron-methyl como maturador na cultura da cana-de-açúcar. Revista STAB, v.21, pp. 36-37.
3. Azevedo, H. J. 1981. Fisiologia da cana-de-açúcar. Araras: Programa Nacional de Melhoramento da Cana-de-açúca. 108 p.
4. Balbín, A. M. I.; Ortega, D. E.; Valdez V. R. 1996. Cambios fisiológicos de la caña de azúcar ante el déficit hídrico. Universidad Autónoma de Chapingo. México. 135 p.
5. Barreto, L. 1991. Efecto de varios porcentajes y tipos de “trash” en rendimiento de azúcar. International Sugar Journal, V.93. pp. 191-194.
6. Batta, S. H.; Singh, R. 1986. Sucrose metabolism in sugar cane grown under varying climatic conditions: synthesis and storage of sucrose in relation to the activities of sucrose syntethase, sucrose-phosphate syntethase and invertase. Phytochemistry 25: 2,431-2,431.
7. Bezuidenhout, N.; O'Leary, J.; Singelsa, G.; Bajicb, V. 2003. A process-based model to simulate changes in tiller density and light interception of sugarcane crops. Agricultural Systems. Volume 76, Issue 2, pp. 589-599.
8. Buenaventura, C.; Gómez, R.; Paz, V., Salazar, E.; Méndez, S.; Cucalón, E. 1992. Evaluación del efecto del Glifosato como madurador en cinco variedades de caña de azúcar de maduración tardía. CENGICAÑA. Documento Técnico No. 2.

9. Buenaventura, C. 2000. Evaluación de la sal monoamónica de Glifosato como madurador de la caña de azúcar, variedad Ragnar, en diferentes sitios y épocas de aplicación. Carta Informativa. Ecuador, Centro de Investigación de la Caña de Azúcar del Ecuador.2 (4): 1-7.
10. Buenaventura, C. E. 1986. Control de la maduración de la caña de azúcar En: El Cultivo de la Caña de Azúcar. Tecnicaña. Cali, Colombia. pp. 299-307.
11. Cakmak, I.; Römheld, V. 1997. Boron deficiency-induced impairments of celular functions in plants. In: DELL, B.; ROWN, P.H.; BELL, R.W. (eds.). Boron in soil and plants: review. Symposium, Chiang Mai, reprinted Plant and Soil, v.193, n.1-2, pp.71-83.
12. Castro, O.; Montúfar, J. 2004. Respuesta de la caña de azúcar al riego precorte caso de la finca Churubusco. En: Memoria. Presentación de resultados de investigación. Zafra 2003-2004. Guatemala, CENGICAÑA. pp. 192-198.
13. Castro, P. R. C. 1999. Maturadores químicos em cana-de açúcar. *Saccharum*, v. 1, p. 12-16.
14. Caputo, M. M.; Ferreira E.G.; Almeida, M.; Stefano, S. M.2008. Resposta de genótipos de cana-de-açúcar à aplicação de indutores de maturação. *Bragantia: Revista de Ciências agronômicas*, año/vol. 67, número 001 Instituto Agrônômico de Campinas. pp. 15-23.
15. Chen, J. C. P. 1991. Manual de Azúcar de Caña. Editorial. Limusa. México. 1200 p.
16. CENICAÑA. 2011. Evaluación de productos maduradores. Cali. Informe Anual 2010. pp. 91-93
17. CENGICAÑA. 2010. Madurantes. En: XV Simposio Análisis de la Zafra. 2009-2010 CD-R.
18. Crusciol, C. A. C.; Leite, G. H. P.; Almeida, M.; Ferraz, G. 2010. Uso de maturadores com ou sem misturas. Tópicos em eco fisiologia da cana-da-asucar. Botucatu. 111 p.
19. De Stefano R. P. 1985. False pol in sugar cane juice-causes and detection. *Journal American. Society. SugarCane Technology*. 4: 80-85.

20. Deuber, R. 1998. Maduração da cana-de-açúcar na região sudeste do Brasil. in: seminário de tecnologia agrônômica, 4. Piracicaba. anais. Piracicaba: Copersucar. pp. 33-40.
21. Espinoza, J. G.; Corado, M. 2011. Evaluación de madurantes no herbicidas en caña de azúcar, Finca Santa Isabel. Ingenio Madre Tierra. Presentación de resultados Power Point. Comité de Malezas y Madurantes CENGICANA.
22. Espinoza, J. G.; Corado, M.; Martínez, M.; Echeverría, C.; Pineda, J. C. 2011a. Efecto de madurantes no herbicidas en el cultivo de la caña de azúcar (*Saccharum* spp.) variedad CP88-1165. En: Memoria. Presentación de resultados de investigación. Zafra 2010-2011. Guatemala, CENGICANA. pp. 261-266.
23. Espinoza, G.; Acan, J.; Ufer, C.; Duarte, R.; Montepeque, R. 2011b. Evaluación de trazas de Glifosato en caña de azúcar. Presentación de resultados, en Power Point Comité de Malezas y Madurantes. CENGICANA.
24. Fernandes, A. C. 1985. Autorização da colheita da cana-de-açúcar. In: semana de fermentação alcoólica "Jaime Rocha de Almeida", 4. Piracicaba. Anais. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". p.12-21.
25. Hatch, M. D.; Sacher JA y Glasziou, K. T. 1963. Sugar accumulation cycle in sugarcane. I. Studies on enzymes of the cycle. *Plant Physiology*. 38: 338-343.
26. Hartzler, B. 2000. Roundup vs. Touchdown. (En línea). Iowa. Iowa State University. Consultado 14 jun. 2007. Formato HTML. Disponible en: <http://www.weeds.iastate.edu/mgmt/qtr97-1/touchdown.htm>.
27. IPNI. 2007. ¿Por qué el potasio ayuda a la movilización de azúcares en la planta? (en línea). USA. (Consultado 30 octubre, 2011). Formato HTML. Disponible en: [http://www.ipni.net/ppiweb/mexnca.nsf/\\$webindex/707D4E47C3BDFD4A86256CF000022C2B?opendocument&navigator=home+page](http://www.ipni.net/ppiweb/mexnca.nsf/$webindex/707D4E47C3BDFD4A86256CF000022C2B?opendocument&navigator=home+page)
28. Jaworski, E. G. 1972. Mode of action of N-phosphonomethylglycine: inhibition of aromatic amino acid biosynthesis. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, Washington, V. 20, p. 1195-1198.

29. Lavanholi, M. das G. D. P.; Casagrande, A. A.; Oliveira, L. A. F.; Fernandes, G. A.; Rosa R. F. 2002. Aplicação de ethephon e imazapyr em cana-de-açúcar em diferentes épocas e sua influência no florescimento, acidez do caldo e teores de açúcares nos colmos – variedade SP 70-1143. Revista STAB, V.20, pp.42-45.
30. Lazcano-Ferrat, I. 2000. El potasio. Esencial para un buen rendimiento en caña de azúcar. Instituto de la Potasa y el Fósforo (INOFOS). Informaciones Agronómicas, 4 (6). México.
31. Leite, G. H. P.; Crusciol, C. A. C.; Almeida M.; Filho, W. G. V. 2008. Growth regulators and technological quality of sugarcane in the middle of the cropping season. Ciência Agro técnica, Lavras, V. 32, N. 6, pp. 1,843-1,850.
32. Leite, G. H. P. 2005. Maturação induzida, alterações fisiológicas, produtividade e qualidade tecnológica da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.), 141p. Dissertação (Mestrado Em Produção Vegetal) – Faculdade de Ciências Agrônômicas– UNESP, Botucatu.
33. Leite G. H. P. e Crusciol C. A. C. 2008. Reguladores vegetais no desenvolvimento e produtividade da cana-de-açúcar. Pesquisa Agropecuaria Brasileira., Brasília, v.43, n.8, pp.995-1001.
34. Legendre, B. L. 1975. Ripening of sugarcane: Effects of sunlight, temperature, and rainfall. *Crop Science*. 15(3):349-352.
35. Meneses, A.; Melgar, M.; Posadas, W. 2011. Boletín Estadístico. Series Históricas de producción, exportación y consumo de azúcar en Guatemala. Guatemala, CENGICAÑA. Año 12, No. 1. 8 p.
36. Morgan, T.; Jackson, P.; McDonald, L.; Holtum, J. 2007. Chemical ripeners increase early season sugar content in a range of sugarcane varieties. *Australian Journal of Agricultural Research* 58. pp. 233–24.
37. Pérez, O. 2008. Manual de clasificación de suelos para la producción de caña de azúcar. Guatemala, CENGICAÑA. 215 p.
38. Posadas, M. 2009. Presentación de resultados de aplicación de madurantes 2008-2009. Comité de Malezas y Madurantes. CENGICAÑA. Presentación Power Point.

39. Salgado, G. S. 1995. Cómo incrementar los rendimientos de caña de azúcar en el estado de Tabasco. Campus Tabasco-ISPROTAB. H. Cárdenas, Tabasco, México. 20 p.
40. Subiros, F. 1995. El cultivo de la caña de azúcar. San José, Costa Rica, EUNED. 441 p.
41. Taiz L.; Zeiger E. 2006. Fisiología Vegetal. 3a. Ed. 581 p. Editorial Sinauer Associates, Sunderland, Massachussets, USA.
42. Toro, F. J.; Jara, W. 2011. Ventajas del promadur® como inductor ambientalmente seguro de la acumulación de sacarosa y derivados. (En línea). Consultado 30 Octubre. Disponible en <http://www.fertilife.org/docu/escrito-cana-azucar-congreso-ecuador.pdf>
43. Venkataramana, S. K.; Naidu, K. M. 1993. Invertase-sucrose relationship in young and mature stems of sugarcane. *Phytochemistry* 32: 821-822.
44. Viator, B. J.; Viator, C.; Jackson, W.; Waguespack, H.; Richard, Jr. E. P. 2004. Evaluation of Potassium-based Ripeners as an Alternative to Glyphosate and the Effects of 2,4-D on Herbicidal Cane Ripening. *Journal American Society Sugar Cane Technologists*, Vol. 24, pp. 98.
45. Villegas, F. 2003. Maduradores de caña de azúcar. Cali, Colombia. CENICAÑA. 66 p.
46. Yamada, T.; Castro, P. R. C. 2007. Efeitos do glifosato nas plantas: Implicações fisiológicas e agronômicas. IPNI (International Plant Nutrition Institute), *Informações Agronômicas*. nº 119.
47. Zablotowicz, R. M.; Reddy, K. N. 2004. Impact of glyphosate and *Bradyrhizobium japonicum* symbiosis; with glyphosate-resistant transgenic soybean: a minireview. *Journal of Environmental Quality*, V. 33, pp. 825-831.