

## FISIOLOGÍA DE LA CAÑA DE AZÚCAR. I. La maduración y el sazonado.

Ing. Jesús Torres Paz, Prof. Auxiliar, Dpto. de Agricultura, Facultad de Agronomía, UMCC

Ing. José Acosta Granados, Prof. Auxiliar, Dpto. de Agricultura, Fac. de Agronomía, UMCC

### Introducción.

Durante los primeros meses de crecimiento y desarrollo de la caña de azúcar el proceso de almacenaje del azúcar se ve limitado fundamentalmente a los canutos totalmente desarrollados cerca de la base del tallo (Gran Período de Crecimiento). El crecimiento, como contrario al almacenaje, es la inquietud primaria de la planta en esta etapa.

Con el tiempo el rápido proceso de crecimiento tiende a disminuir, convirtiéndose la planta en una sucesión de canutos totalmente desarrollados, con la excepción de la región de los entrenudos en crecimiento aún encerrados por las hojas verdes (Etapa de Maduración), el rasgo fisiológico saliente aquí será el almacenaje del azúcar en lugar de su utilización.

Ahora bien, en la planta en su crecimiento se ha ido formando un potencial de acumulación masivo de azúcar en el tejido de almacenaje. La realización de este potencial es comúnmente descrito como maduración. En términos fisiológicos los procesos de envejecimiento, maduración y sazonado no son sinónimos, siendo su definición como sigue:

**Maduración**, es la terminación botánica de un tallo adecuado para producir nuevas plantas.

**Sazonado**, es el detenimiento del crecimiento y el almacenaje de la sacarosa en los tejidos. (Culminación o perfeccionamiento de la madurez)

**Envejecimiento**, es edad. La planta pudiera nunca sazonar con tal que el agua y el N estén abundantes continuamente.

De esta forma la caña puede ser sazonada fácilmente, pocos meses después de la germinación por la supresión del agua, nutrientes u otros factores necesarios para el crecimiento. Pero estas plantas no están maduras.

El sazonado esta limitado por varios factores, entre ellos juega un papel fundamental la fertilización, así, el productor puede retrasar inadvertidamente el sazonado con una consecuencia de sus esfuerzos por producir el máximo de crecimiento con la fertilización. Algunos autores, como Michel y Tanimoto establecen que el exceso de N disponible al momento de la cosecha es la causa principal del bajo contenido de sacarosa. Clements describe la fertilización nitrogenada pesada como que permite a una pequeña cantidad de azúcar ser almacenada aún cuando la capacidad potencial de almacenaje se ha incrementado. Bonnet recomienda que todo el N debería ser aplicado en la siembra o inmediatamente después de la cosecha.

El clima es otro factor de importancia, en las regiones frías, que tienen una estación de crecimiento corta, la caña d azúcar rara vez produce la madurez total. Está demostrado que la edad para la cosecha afecta el perfil de la maduración dentro del tallo. Por lo general cada variedad tendrá aproximadamente un poco de sazonado después del cual su contenido de sacarosa declina sí permanece sin cosechar.

Para el productor el sazonado es menos una condición fisiológica que una necesidad pre-cosecha, en la cual la planta debe ser “engañada” por cuanto medio este disponible. En este tema nosotros estamos interesados por el sazonado como una función natural y paralela de la madurez.

### **Teoría del sazonado.**

Clements a descrito al sazonado de la caña de azúcar como una senectud fisiológica intermedia entre la fase de rápido crecimiento y la muerte final de la planta. Van Dillewijn describe el sazonado como una sucesión de canutos cuyos valores individuales de sacarosa pueden ser ploteados como una meseta llana. Solo los canutos de las hojas verdes y los basales (alto contenido de fibra) no retienen azúcar apreciable.

El sazonado natural es también un proceso a largo plazo en el cual los entrenudos más viejos asumen una supremacía y continúan almacenando sacarosa aún cuando los entrenudos más jóvenes estén sazonados. Entre los nudos sucesivos cada canuto produce

su propio perfil azucarero, los valores de sacarosa son más altos en el centro y declina hacia cada extremo. Esta diferencia es más acentuada en los canutos jóvenes de la zona de las hojas verdes.

En realidad todo lo que se conoce hasta hoy con relación al crecimiento o inversión, no explica la acción de un sistema funcional en el cual se efectúa un almacenaje masivo de sacarosa consistentemente muy superior a las necesidades de supervivencia de la planta.

### **La madurez.**

El concepto más correcto de la madurez es considerarla como una secuela inevitable a las primeras fases del crecimiento y desarrollo. No obstante, cuando se considera la multitud de factores ambientales, los factores fisiológicos internos y los mecanismos bioquímicos interrelacionados dentro de la planta desde el momento mismo de la brotación, se puede comenzar a apreciar que el hecho de que una planta de caña de azúcar madure a los límites de su potencial es una obra de arte.

Clements ha descrito la madurez como la culminación de procesos fisiológicos bifásicos.

- La primera fase termina cuando la hoja vieja se desprende de su entrenudo.
- La segunda fase incluye todos los hechos subsiguientes relativos a la acumulación de azúcar en los entrenudos desarrollados.

Debe tenerse en cuenta los factores varietales, culturales y ecológicos que hayan influido en los primeros períodos de vida de la planta. Durante el crecimiento inicial la caña comúnmente es abastecida con abundante agua y elementos necesarios para el crecimiento copioso. Los tejidos durante estas primeras semanas y meses contienen:

- Altos niveles de N y agua.
- Altos niveles de enzimas.
- Altos niveles de auxinas endógenas almacenados en el meristemo del tejido almacenador.
- Mucho azúcar invertida y numerosos compuestos intermedios de la fotosíntesis, respiración y metabolismo del nitrógeno.
- La actividad respiratoria alta

Hay una rápida absorción y transpiración del agua, con una absorción y circulación continua de los elementos nutritivos. La sacarosa es rápidamente sintetizada y almacenada y con igual rapidez es retirada del almacenaje para ser metabolizada o para ser encerrada irreversiblemente en la estructura del tejido de la nueva planta. Las células del parénquima almacenador en esta etapa son largas, de pared delgada e hidratada.

El químico del central encuentra estos tejidos abundantes en impurezas, es decir, encuentra poca sacarosa y abundancia de otras sustancias que tienen poca utilidad aparente en la industria y además complican la extracción y purificación de la sacarosa. Pero para la planta estas sustancias nunca son impurezas, por el contrario le son necesarias para mantener sus procesos vitales. Con el paso del tiempo el meristemo se vuelve hacia arriba dejando detrás los entrenudos anatómicamente completos pero inmaduros en el proceso de elongación.

Cada entrenudo sucesivo completa su ciclo vegetativo con:

- El engrosamiento y fortalecimiento de las paredes celulares.
- Incremento de la materia seca no azúcar.
- La gradual deshidratación.
- Incremento de la acumulación y retención de la sacarosa.
- Decrecimiento del grado de elongación.

Finalmente el entrenudo cesa de crecer y su hoja se desprende y cae del tallo, aquí culmina la primera etapa de la maduración. Clements señaló que el entrenudo pudiera ahora contener más sacarosa sobre la base del peso seco que en cualquier otro momento, pero que sin embargo existe todavía un potencial para incrementos adicionales de hasta el 50%, que Clements describe como la segunda fase de la madurez.

La creencia de que la maduración se completa en el momento de la caída de la hoja es totalmente errónea y esto se ha demostrado por los análisis convencionales de azúcar y por las técnicas del carbón radioactivo.

La segunda fase es grandemente regulada por:

- Caracteres varietales.
- Factores del suelo y ecológico.

De éstos los más importantes son la fertilización y la humedad. Mientras la planta pueda disponer rápidamente del N y el agua realizará una actividad continua de crecimiento y tendrá poca posibilidad de realizar el máximo almacenaje del azúcar. El cosechero que puede manipular el N y la humedad por juiciosos programas de su suministro estará en excelente posición para incrementar la segunda fase de la madurez y por lo tanto el sazonado.

### **Mecanismo de almacenaje en el tejido del tallo.**

Hace más de 40 años Hartt descubrió una correlación positiva entre el nivel de la invertasa y el contenido de sacarosa en los entrenudos maduros de la caña. La pérdida observada del potencial de invertasa en los tejidos que han completado mucho de su actividad almacenadora fue tomada como evidencia de la implicación directa de las invertasas en la síntesis de la sacarosa.

La hidrólisis de la sacarosa es un paso esencial y limitante para recibir y almacenar el azúcar por los tejidos inmaduros de los entrenudos. Existen dos tipos de invertasas activas en el tejido almacenador maduro, una neutra (soluble a pH 7) encontrada en el citoplasma y una ácida (pH óptimo 3,8) estrechamente ligada a la pared celular. Se encontró una relación estrecha entre el nivel de la invertasa ácida de la pared celular y la hidrólisis de la sacarosa a pH 4,5. El almacenaje de la sacarosa se aumentó entre los pH 4 y 7.

Haukers y Hacths proponen que la contribución de la invertasa neutra con respecto a la hidrólisis de la sacarosa permanece esencialmente constante, mientras que la ácida varía extensamente con el cambio del pH. Así en algunos tejidos bañados en un medio de pH 7 la invertasa neutral responde del 70% de la hidrólisis de la sacarosa mientras que a pH 4 la misma cantidad de enzimas no podría haber hidrolizado más del 10%. Estos autores plantean que el nivel de invertasa neutral no es necesariamente una medida de su potencial de trabajo vivo, Concluyendo además que el almacenaje ocurre por las siguientes fases en el tallo maduro:

- a) La hidrólisis de la sacarosa ocurre como su prerrequisito y es el primer paso de límite de su cantidad

- b) La formación e interconversión de los fosfatos de hexosas.
- c) La formación de un derivado de la sacarosa (presumiblemente fosfato de sacarosa)
- d) El movimiento de la mitad de la sacarosa dentro de la vacuola.

Este mecanismo difiere del de el tejido almacenador inmaduro en al naturaleza y distribución de la invertasa.

### **Potencial de almacenaje.**

Entre las especies del genero *Saccharum* existen diferentes potenciales de almacenaje de azúcar. Existe mucha especulación acerca del surgimiento de las especies. Brandes sugiere que el *S. spontaneum* fue el tipo original y que el *S. robustum* se desarrollo por selección natural bajo diferentes condiciones ambientales, que el *S. officinarum* se originó por la selección humana de las formas más dulces y suculentas del *S. robustum* y que las *S. sisnensis* y *S. barberi* se debe a cruce de la *S. spontaneum* con la *S. officinarum*.

Bull y Glasgion sugieren que la variación de potenciales hasta llegar al *S. officinarum* se debe a procesos de selección estrictamente naturales, de formas tal que aquellos vástagos que movilizaron más fácilmente la sacarosa pudieron disfrutar de una ventaja evolutiva. Ellos establecieron que:

- Al menos el 5% del tallo debía ser fibra para enfrentar los requerimientos estructurales.
- El contenido mínimo de humedad debe ser del 70%
- El valor máximo de sacarosa obtenida es del 25%

Ellos encontraron el nivel más alto de azúcar en el *S. officinarum*, y el más bajo en el *S. spontaneum*, teniendo el *S. robustum* un contenido intermedio. Estos resultados fueron tomados como evidencia de la selección natural para la capacidad de almacenaje de azúcar en el cual los altos puntos actuales son encontrados en los gentipos del *S. officinarum*.

Tomaron una evidencia adicional sosteniendo esta tesis a partir del débil habito de floración y pérdida de la fertilidad del *S. officinarum*. Este vigor de la floración puede ser restaurado con al consiguiente pérdida de almacenaje de sacarosa, en al hibridación del *S. officinarum* con el *S. spontaneum*. Esto implica que la selección natural favoreció la característica d almacenaje de azúcar en vez de la floración y el hacho de producir semillas. La selección

unilateral de una característica usualmente es correlacionada con cambios adversos en otros caracteres, según plantean Wather y Harrison.

Bull y Glasgion notaron que la humedad correlaciona más estrechamente con el contenido de fibra que con el azúcar. Esto sugiere que altos niveles de azúcar no producen un efecto osmótico capaz de limitar su acumulación.

De todos estos datos se concluye que el *S. officinarum* necesita haber provenido únicamente de la selección humana, como Brandes había sugerido. Tal vez un proceso de selección en el cual el crecimiento del nuevo vástago fue favorecido por grandes cantidades de sacarosa movilizable.

### **La humedad.**

El agua es esencial para mantener la presión de turgencia y por sus reacciones parciales en la síntesis y almacenaje del azúcar. Sin embargo su papel es poco conocido ya que su presencia es requerida para casi cada aspecto de la síntesis, transporte y almacenaje del azúcar. Este conocimiento de la fisiología del agua en la caña de azúcar está limitado por dos hechos sólidos:

- a) La cantidad de agua que toma parte en las reacciones bioquímicas es extremadamente pequeña.
- b) Es casi imposible aislar el agua como variante sola a controlar.

El agua constituye más del 70% de peso fresco de una cosecha de caña de azúcar. Asumiendo que la materia seca constituye el 30% restante, la relación agua-materia seca es de **2.5 : 1**. Solamente alrededor del 1% del agua absorbida es retenida, a causa de la transpiración. De acuerdo con esto se intentó definir la transpiración como una “maligna necesidad”, pero esto no es cierto, dando la significación de este proceso en el mantenimiento de la presión de turgencia en la regulación de la temperatura de la hoja y en la facilidad para la toma de nutrientes y la traslocación de elementos asimilados.

Se han planteado muchas opiniones sobre el requerimiento de agua de la caña de azúcar relativos a la eficiencia del agua entre la capacidad de campo y el punto de marchites. Algunos autores plantean que el crecimiento y el rendimiento no son afectados adversamente por las variaciones del agua en el suelo hasta que se alcance el punto de marchites.

Mengelard observó respuestas diferentes de las variedades susceptibles a la sequía y “resistentes” a la sequía para un potencial de agua dado en el suelo. Él sugiere que debe dársele mayor atención al potencial de agua en la planta y su relación con el crecimiento. En términos generales, el régimen de agua de la planta más efectiva en estimular el sazonado es aquel que da las mayores restricciones frente al crecimiento, mientras que todavía mantiene normal la síntesis, transporte y almacenamiento del azúcar.

### **El agua y el sazonado de la caña de azúcar.**

Hartt en Hawai enfatizó en sus experimentos la importancia fisiológica del agua para la caña de azúcar cuando se busca el máximo de crecimiento y el máximo de almacenamiento de azúcar por el productor. Ella también intentó explicar que el agua incrementa la fotosíntesis y el transporte del azúcar además del crecimiento.

Fue el primer fisiólogo en considerar seriamente si limitando el agua se mejora la calidad por incremento del contenido de sacarosa o reducción del contenido de agua. Su trabajo incluyó además análisis de enzimas en un esfuerzo por definir el mecanismo de control del agua sobre el nivel de carbohidratos. Sus resultados demostraron, que las plantas iluminadas dándole adecuada agua contenían más sacarosa en la hoja y menos sacarosa almacenada que las plantas dándole inadecuada agua.

Hartt visualizó que las plantas bien abastecidas de agua e iluminadas producían más fotosintato, pero también utilizaban más en la traslocación, crecimiento y respiración, causando finalmente una disminución neta de la sacarosa almacenada. El alto contenido de la sacarosa en la caña deficiente de agua fue explicado en términos de la poca utilización bajo condiciones de pobre crecimiento.



Las investigaciones posteriores de Oshton, Burr y Hartt confirmaron que el bajo suministro de agua es limitante para la fotosíntesis, sin embargo se demostró que dentro de ciertos límites de tensión del agua dañará menos severamente a la fotosíntesis que al transporte de sacarosa, esto último visto como una ayuda al proceso de almacenaje en permitir más tiempo para la acumulación de azúcar. Además, hay menos sacarosa hidrolizada bajo poca tensión de agua y una mayor cantidad de sacarosa es utilizable a causa del crecimiento restringido.

Hartt concluyó que a pesar de que el suministro de agua es tan limitante como para prevenir la fotosíntesis completa, no hay argumento fisiológico contra la suspensión del agua para fines de sazonado.

La suspensión del agua para favorecer el sazonado constituye una práctica aceptada hasta el presente (para restringir el crecimiento y favorecer la acumulación). El suministro continuo de agua, por otra parte, favorece un crecimiento exuberante que pudiera constituir un gravamen para las operaciones de cosecha.

En resumen, la influencia del agua en el sazonado está dado desde dos aspectos:

- a) Poca humedad reduce el crecimiento por lo tanto favorece la acumulación de azúcar.
- b) Mucha humedad aumenta la fotosíntesis y la respiración (crecimiento).

### **El nitrógeno y el potasio en el sazonado de la caña de azúcar.**

Aunque muchos de los nutrientes de las plantas influyen en los procesos de la fotosíntesis, traslocación y almacenaje de los azúcares, los beneficios de abundante suministro de nutrientes son generalmente atribuidos al incremento en tonelaje en vez de los efectos en la síntesis y almacenaje del azúcar.

Se ha establecido que la fertilización nitrogenada incrementa el área de las hojas activamente fotosintetizadora pero no incrementa el grado de fotosíntesis en sí. Solo en el caso del potasio hay evidencias significativas de que su deficiencia produce pobre calidad en la caña además de restricción del crecimiento.

Samuel y col han delineado el tonelaje de caña y contenido de sacarosa como de mayor importancia en su programa de fertilización, pero el efecto del incremento en tonelaje puede ser invalidado y hacerse inaceptable si esta acompañado por pérdidas significativas de azúcar. Sin embargo, tradicionalmente, la relación predominante de macronutrientes para el sazonado de la caña ha sido vestida como la producción de tejido almacenador, a la vez que cuando el tejido crezca dañará al mínimo los procesos de maduración y sazonado.

### **a) El Nitrógeno.**

Los efectos dañinos del nitrógeno contra el sazonado en cultivos de 12 meses pueden ocurrir cuando:

- a) La estimulación del crecimiento por el N residual es acompañada por un riego tardío.
- b) Las aplicaciones de N son o muy fuertes o demasiado tardías en el período de crecimiento.
- c) Cuando la cantidad de lluvia desfavorable evita la utilización del N a principios de la estación y encara la utilización del N a finales de la estación.

Se plantea que esta situación es más complicada en un cultivo de dos años, aunque Borden en Hawai demostró que el tonelaje y la calidad son más afectados por el N durante los primeros nueve meses. Clements plantea que el uso excesivo de N tiende a suceder cuando los cosecheros reciben una suma fija por tonelada de caña prescindiendo del contenido de azúcar.

La fertilización nitrogenada es una práctica aceptada en todas las regiones del mundo productor de caña de azúcar. La agricultura moderna comprende en este sentido la diagnosis foliar, el manejo del agua, la fertilización como acción y en general una mejor comprensión de los requerimientos en el crecimiento y desarrollo de la caña de azúcar (cuando aplicarla). Experimentos realizados en Hawai y Puerto Rico, entre otros, reportaron resultados similares en al respuesta a diferentes fuentes de N: Sulfato de amonio, Nitrato de amonio, Cianamida, etc. Así en vez de las consideraciones fisiológicas, la fuente práctica de N para la caña de azúcar está determinada por el costo de producción, transportación, facilidad de aplicación y manipulación.

El pH del suelo es un factor de influencia relativa a la fuente de N, eje. el sulfato de amonio incrementa el nivel de ión hidrógeno y puede ser perjudicial en los suelos ácidos o beneficioso en los suelos de pH 7 o superior.

Samuel y col encontraron evidencias del mejoramiento de la calidad de la caña como un hecho paralelo al incremento en tonelaje por la fertilización nitrogenada.

### **b)El potasio.**

El potasio realiza funciones altamente localizadas relativas al transporte y almacenaje del azúcar las cuales son esencialmente independientes de los niveles encontrados en la hoja o en la vaina. Numerosos investigadores han encontrado una aparente relación entre la deficiencia de potasio y los bajos rendimientos. Así, Samuels obtuvo incrementos en tonelaje y calidad con fertilizaciones potásicas. Humbert ha enfatizado en la necesidad de mantener el potasio adecuado en la caña de azúcar y la remolacha para asegurar la calidad óptima.

Samuels y Landrau estudiaron los componentes del porcentaje de sacarosa en caña aprovechable de una serie de experimentos los cuales respondieron a la fertilización NPK y encontraron reducciones significativas en el Brix, pol, pureza y el azúcar aprovechable en los tallos y el jugo de los campos deficientes de potasio. No obstante, cuando el potasio estaba disponible en cantidades adecuadas las aplicaciones de N incrementaron significativamente los valores del Brix y la polarización y mejoraron el porcentaje de extracción. Esto evidencia una relación específica K/N necesaria para una alta calidad del jugo, como sugieren Humbert y Bennet.

El papel bioquímico desempeñado por el K en la caña de azúcar permanece aún en materia de conjeturas, aunque no puede ser descartada la posibilidad de su papel directo en el metabolismo de las hexosas y el transporte de la sacarosa.

Hartt estableció una relación entre el nivel de K y la síntesis de proteína de las láminas y tallos. En Hawai se observó una depresión del grado de fotosíntesis en las plantas deficientes en K, sin embargo, Borden no fue capaz de compensar la baja intensidad de la

luz solar con aplicaciones de K. Por lo general la fertilización potásica tenderá a incrementar el contenido de N y de humedad de la caña de azúcar.

El movimiento de la sacarosa de la hoja hasta el tejido almacenador es disminuido marcadamente por la deficiencia de K. Debido a esto (cuando es más severa la deficiencia) aumentó el grado de respiración de las hojas, disminuye la fotosíntesis, disminuye la conversión de los azúcares intermedios en sacarosa, además de la restricción del transporte.

Hart concluyó que el transporte reprimido de la sacarosa es un efecto primario en vez de secundario del bajo suministro de K. Además se plantea una indispensabilidad aparente del K en la conducta normal de las enzimas en las relaciones metabólicas de la planta.

### **Control del sazonado por el registro de campo.**

La caña de azúcar necesita de los factores clima, humedad y nutrición en proporciones diferentes durante el crecimiento y desarrollo para producir altos tonelajes de caña. Se han obtenidos progresos notables con la adaptación de los programas de producción a las necesidades fisiológicas de la caña de azúcar por el uso de varios índices. Esta práctica implica el muestreo de tejidos específicos, la ejecución de análisis de minerales o humedad en estos tejidos, la evaluación de los datos de los historiales del cultivo y la formulación de decisiones culturales apropiadas con relación a las tendencias de los parámetros corrientes.

El control del cultivo de la caña de azúcar se basa en una entrada continua de nueva información del crecimiento que ha culminado en el registro de campo (concepto desarrollado por Clements). El registro de campo es potencialmente un sistema de automejoramiento perfeccionado por los datos de cada cosecha sucesiva y la experiencia acumulada del productor de caña de azúcar.

### **El índice primario.**

Este índice es propuesto por Clements a partir del hecho de que en áreas con diferentes intensidades luminosas se obtienen diferentes rendimientos, aún en condiciones de humedad

y nutrición iguales. El propuso un índice interno que respondiera lo suficientemente a los factores del suelo y fisiológicos para servir como una guía en la planificación de los programas de cultivo más adecuados a las condiciones locales de luminosidad (índice primario).

El índice primario es definido como el nivel de azúcares totales de la vaina de la caña en elongación, expresado en porcentaje de materia seca. O sea, el contenido de azúcar d un tejido almacenador intermedio específico es tomado como el indicador más confiable de cuan favorablemente la planta se esta integrando con todo su medio.

En opinión de Clements, el potencial de rendimiento de la luz es enfrentado a la acción de los “factores que frenan” tanto internos como externos desde la humedad hasta la propia mano del hombre. De esta forma la planta es altamente sensible al factor que frena y su respuesta a tales factores esta reflejada en el índice primario.

En la práctica está planteado que los valores de azúcar en la vaina cerca del 10% del peso seco indican un balance relativo entre la producción y la utilización del azúcar, valores bajos significan que el crecimiento esta aventajando a la fotosíntesis y valores superiores que el almacenaje predomina sobre la utilización.

Por lo general un valor bajo del índice primario está acompañado por altas temperaturas, excesiva hidratación del tejido y alta intensidad de luz. Los valores altos están asociados con bajas temperaturas, baja intensidad de luz y baja hidratación del tejido.

Los valores más críticos para el índice primario son la luz solar, el crecimiento y la humedad. Los demás factores como la temperatura y los fertilizantes toman parte también dentro del establecimiento de los valores del índice, pero ellos son incorporados dentro de estos tres índices superiores o suplementarios.

En resumen el índice primario define la energía potencial de un área local e indica los límites dentro de los cuales se puede obtener una producción eficiente. Por esta vía se pueden evitar los riesgos de gastos de recursos en agua y fertilizantes hacia rendimientos de alta

energía en áreas que tienen solamente un potencial de baja energía. Tales prácticas antieconómicas y frecuentemente dañan la calidad.

### **Control químico del sazonado.**

El sazonado normal incluye cambios en el balance del metabolismo dentro de la planta. No es un proceso irreversible y las aplicaciones tardías de N o los riegos pueden causar una reversión para reanudar el desarrollo vegetativo.

La mayoría de las regiones productoras en los trópicos el cultivo se cronometra para que el período de sazonado coincida con el período de sequía, a medida que el abastecimiento de agua de la planta disminuye, el crecimiento se retarda y la planta acumula los azúcares manufacturados en el campo.

Para forzar el sazonado es imprescindible asegurarse de que la planta ya no contiene N cuando se aproxima el corte. Sobre éste Wrich plantea que no debe exceder de 1 000 ppm en seis semanas antes del corte.

Cuando no existan las condiciones para el sazonado natural todavía es posible inducir el sazonado provocando una sequía fisiológica, restringiendo la absorción de nutrientes y agua con productos químicos reguladores del crecimiento o inhibidores de enzimas (reduciendo la respiración sin afectar interiormente el proceso de la fotosíntesis).

La supresión química de la respiración o el crecimiento puede promover almacenamiento de sacarosa. Estos productos pueden ser clasificados en defoliantes, desecantes, reguladores del crecimiento e inhibidores de enzimas. Los defoliantes y desecantes causan el secado del follaje y mediante la quema se reduce la cantidad de materias extrañas que llegan a las fábricas mejorando por consiguiente la recuperación de azúcar. Los reguladores del crecimiento pueden actuar además como inhibidores de enzimas.

El uso de maduradores químicos para la caña de azúcar se ha convertido en una herramienta útil para optimizar los rendimientos industriales del cultivo; sin embargo, es

necesario determinar su eficiencia en localidades, variedades y épocas de aplicación, ya que se han comprobado respuestas diferenciales dependiendo de esas condiciones. Dentro de este contexto Cutiño y col (1992) evaluaron con éxito Fusilade, Glifosato y Touchdown, productos químicos en mayor o menor medida tóxicos y fitotóxicos que contamina el ambiente.

Rodríguez y Hernández (1994) evaluaron el Fusilade Súper (Flurazifop-butil) como madurador en tres Complejos Agroindustriales (CAI) ubicados en la Provincia de Las Tunas, Cuba, sobre seis variedades de caña de azúcar y en tres épocas de aplicación. Cuando el producto se aplicó a inicio de zafra, se encontró alta respuesta en las variedades Ja60-5 y C87-51, en el CAI Majibacoa; a la aplicación a final de zafra hubo escasa o ninguna respuesta en las variedades MY5514, C568-75 y C266-70, en el CAI Antonio Guiteras, y la misma respuesta tuvieron las dos últimas variedades al producto aplicado a mediados de zafra en el CAI Jesús Menéndez, ambos en la zona norte de la Provincia. No se observaron alteraciones de consideración en los rendimientos agrícolas por la aplicación del producto, aún en las variedades de alta respuesta.

Con la aplicación de estos productos, plantean Romero y col. (1997), se busca modificar las condiciones naturales de maduración a fin de incrementar el contenido de azúcar, sin afectar significativamente el rendimiento agrícola. Además, los maduradores al favorecer una adecuada acumulación de sacarosa en los entrenudos apicales (normalmente inmaduros) y provocar un desecamiento temprano del follaje, permiten efectuar un corte más alto (mayor producción en caña) y disminuir el contenido de materias extrañas que llega a la fábrica (menos pajas), mejorando la eficiencia global de la cosecha. En Tucumán, Argentina, se obtuvieron respuestas favorables en el 83% de las situaciones evaluadas, con incrementos de hasta un **28.7%**, con la aplicación de Glifosato. Los máximos incrementos se produjeron entre la **sexta y décima semana** posterior a la aplicación, lo cual destaca a este **período** como el **óptimo** para efectuar la cosecha. El incremento promedio obtenido varió entre un 6% y un 11% (0.5 - 1.0 punto de rendimiento fabril).

Creach, Díaz y Nordet (1998) reportan que el madurador Carboxyl, entre 1.5-3 l/ha del producto comercial, presentó incrementos acentuados del rendimiento industrial, por % caña y pureza del jugo, en la variedad C120-78, similares a los del madurador estándar Fusilade,

Ethrel, Glifosato, Touchdown y Moddus, en aplicaciones a inicios y a mediados de zafra, en intervalos óptimos entre 37 y 45 días desde la aplicación, respectivamente, en un experimento y una extensión comercial (en aplicación aérea) desarrollados en Santiago de Cuba. No obstante, por su mayor respuesta se recomienda aplicar a inicios de zafra (noviembre-enero) y cosechar entre 30 y 40 días de la aplicación. Por otra parte, no afectó el follaje, crecimiento ni rendimiento agrícola de la caña tratada ni a otros cultivos adyacentes, no fueron tóxico a los aplicadores y bandereros, ni contamina el medio ambiente, aspectos en que aventaja a los maduradores tradicionales. Se recomienda extender su aplicación a varios CAI donde se muele con caña tratada al menos durante una decena continua. Estudios posteriores de Creach y col (2000) en el CAI Chile confirman los resultados anteriores en las variedades Ja.60-5, C.87-51, C.323-68 y B.63118 y efectos poco marcados en la Ja.64-19 con aplicaciones entre los 20 y 45 días, tanto a inicios como a mediados de zafra. Se muestran incrementos en los rendimientos industriales de 0.66 unidades, con un efecto económico de 114 898 USD por concepto de exportación del azúcar adicional generada.

El empleo de la maduración química de la caña de azúcar en Tucumán, por la Estación Experimental Agroindustrial “Obispo Colombres” (2000) provoca mejoras significativas en las condiciones de cosecha del inicio de zafra, al favorecer un mayor aprovechamiento del potencial azucarero de los genotipos disponibles. Además, permite aumentar la recuperación de azúcar y facilitar un inicio más temprano de la cosecha, lo que, junto con los otros efectos adicionales, permite un trabajo más eficiente de las cosechadoras integrales. La magnitud de los incrementos detectados a través de la recuperación de azúcar en fábrica superó en general el medio punto de rendimiento (0,5%) y con valores máximos de 1,5 puntos. El período óptimo y seguro de cosecha se presenta entre la sexta y décima semana posterior a la aplicación.

En el Suplemento Rural “La Gaceta” (2001) se expresan los resultados obtenidos por la EEAOOC en el que el glifosato resulta más efectivo en las variedades tempranas (CP 65-357, NA 63 -90, TUC 71-7 y LCP 85-376), con un incremento relativo promedio del contenido de azúcar del 7,5% y un período óptimo de cosecha de unas 7 semanas, que se inicia en la 5ta desde el tratamiento. El fluazifop p-butyl, resulta más efectivo que el glifosato en variedades intermedias, como TUC77-42 y TUC72-16, con incrementos relativos promedio del contenido



de sacarosa del 7%. También muestra una elevada efectividad en variedades tempranas de reciente difusión (LCP85-384 y RA87-2), con un incremento relativo promedio del 8%. Con ambos madurantes y especialmente en las variedades precoces, las mejores respuestas se logran con tratamientos realizados al final del "Período de Gran Crecimiento", cuando el crecimiento disminuye y la maduración no está muy avanzada.

Entre las características más importantes de éstos maduradores, Suplemento Rural "La Gaceta" (2001), se destacan las siguientes: 1) Provocan un adelanto de la maduración, que permite anticipar el inicio de la zafra en 15-30 días, procesando cañaverales de variedades extratempranas y tempranos tratadas con maduradores. 2) La magnitud de los incrementos en el contenido de azúcar y la duración del período óptimo de cosecha, varían con la variedad, con el madurador usado y con la época y la dosis de aplicación. 3) Las respuestas muestran una adecuada repetibilidad. 4) Resultan efectivos en cañaverales de crecimiento vigoroso, de buen nivel productivo y con un desarrollo foliar que asegure el éxito de la aplicación.

### **Bibliografía.**

- **Alexander, A.** (1976). Sugar Cane Physiology. Elsevier. Publishing Co. London. 675 pp.
- **Clements, H. F.** (1959). Recent developments in crop logging of Sugar Cane. Proc. 10<sup>th</sup> Cong. ISSCT. pp. 522-529.
- **Creach, I., J. C. Díaz y J. F. Nordet.** (1998). Evaluación en Santiago de Cuba de Carboxyl: Nuevo madurador no tóxico en Caña de azúcar. Rev. Cuba y Caña No. 2 1998, pp. 19-23.
- **Dillewijn, C. van.** (1978). Botánica de la caña de azúcar. Edit. Rev. I.C.L. La Habana. 460p.
- **Fauconnier R. y D. Bassereau.** (1980). La caña de azúcar. Ed. Científico-Técnica. La Habana. 369 p.
- **Fernández, R., A. Dávila y F. Del Toro.** (1983). Botánica y Fisiología de la caña de azúcar. Edit. Pueblo y Educación. La Habana. 244 pp.
- **Humbert, R. P.** (1979). El cultivo de la caña de azúcar. Edit. Pueblo y Educación. La Habana. 712 pp.

- **Rodríguez, S. y D. Hernández.** (1994). Efecto del Fluazifop-butil sobre la maduración de la caña de azúcar. *Caña de Azúcar*. 12(2): 61-71.
- **Romero, E. R., J. Scandaliaris, I. Ole y S. Sotillo.** (1997). Maduración química de la caña de azúcar. EEAOC. *Gacetilla Agroindustrial*. No. 58, Marzo 1997.
- **Suplemento Rural “La Gaceta”.** (2000). Tecnologías de campo. Maduradores químicos en caña de azúcar. Tucumán. Argentina. Diciembre 2000.
- **Suplemento Rural “La Gaceta”.** (2001). Maduradores químicos en caña de azúcar. Una práctica recomendada para lograr mejorar el contenido sacarino. Tucumán. Argentina. Marzo 2001.
- **Torres, J., B. Verano, N. Moya, S. Rodríguez, J. Acosta, y M. Caballero.** (1989). *Fitotecnia de la caña de azúcar*. ENPES. Cuba. 582 p.