

# Control y Características de Maduración

Jesús E. Larrahondo A. y Fernando Villegas T.\*

En la caña de azúcar se pueden considerar los estados de maduración botánica, fisiológica y económica (Deuer, 1988). Desde el punto de vista botánico, se considera madura después de la emisión de flores y la formación de semillas que puedan dar origen a nuevas plantas. Si se tiene en cuenta la multiplicación vegetativa, que se utiliza en la práctica, la maduración tiene un ciclo más corto y ocurre cuando las yemas están en condición de originar nuevas plantas.

La maduración fisiológica se alcanza cuando los tallos logran su potencial de almacenamiento de sacarosa, o sea el punto de máxima acumulación de azúcar posible. La caña de azúcar alcanza la maduración botánica antes de la fisiológica; esto significa que la acumulación de sacarosa continúa, por lo general, por 1 ó 2 meses más, después del inicio de la caída de las semillas.

El concepto de maduración económica está sobre la perspectiva de las prácticas agronómicas. En este sentido, la caña se considera madura, o en condiciones para el beneficio industrial, a partir del momento en que presenta un contenido mínimo de sacarosa, y un «pol» por encima de 13% con base en el peso de la caña.

## Maduración Fisiológica de la Caña de Azúcar

La maduración de la caña de azúcar se define como la culminación del proceso fisiológico que conlleva a la máxima acumulación de sacarosa en la planta. Clements (citado por Humbert, 1970) describe este proceso en dos etapas: la primera incluye el engrosamiento y cese de crecimiento de los entrenudos, acompañados por un incremento de la materia seca, y la segunda está relacionada con la acumulación de la sacarosa en los entrenudos totalmente desarrollados. Esta última etapa depende de factores nutricionales y ambientales. Varios investigadores (citados por Humbert, 1970) sostienen que si el agua y el nitrógeno son abundantes, la planta no madura. Estos investigadores encontraron que la fertilización con altas dosis de nitrógeno es la causa principal de las bajas acumulaciones de sacarosa en la caña, aunque este nutrimento puede incrementar la capacidad potencial de almacenamiento de una determinada variedad. Por otro

---

\* Jesús E. Larrahondo es Químico, Ph.D, de CENICAÑA. Fernando Villegas es Ingeniero de Mecanización Agrícola del Programa de Agronomía de Cenicaña.

lado, Armas (citado por Martin et al., 1987) encontró que la absorción excesiva de potasio influye en el ciclo biológico de la planta, ocasionando el adelanto de la maduración y un aumento de sacarosa, en comparación con un cultivo que crece en condiciones normales.

La sacarosa constituye alrededor de 50% del total de la materia seca del tallo maduro de la caña de azúcar, y su contenido en el tejido parenquimatoso de almacenamiento es, aproximadamente, 20% de su peso fresco (Glasziou y Gayler, 1972).

Entre los compuestos que controlan la acumulación de sacarosa en los tejidos de almacenamiento se encuentran las invertasas. Estas son enzimas que dirigen la utilización de los azúcares durante el crecimiento y su acumulación en los tejidos de la planta. Existen dos tipos de invertasas solubles: la ácida, que tiene su máxima actividad entre pH 5.0 y 5.5; y la neutra, que es más activa a pH 7.0. Martin et al. (1987) citan, a Hatch quien considera que la invertasa ácida está presente en los tejidos inmaduros y la neutra en los maduros, a Alexander quien encontró ambas enzimas en el tejido meristemático, y a Armas, quien encontró variaciones en la concentración de ambas invertasas durante el ciclo de desarrollo de la caña de azúcar, siendo su actividad baja al comienzo del ciclo biológico y mayor en la etapa de crecimiento; igualmente, este último investigador encontró un aumento en la actividad de la invertasa neutra y una disminución de la invertasa ácida en la etapa de maduración. De acuerdo con Alexander, las invertasas ácidas son proteínas que poseen, además, otros componentes como azúcares y manganeso, que cuando son deficientes, ocasionan una pérdida en la actividad enzimática (Martin et al., 1987).

En general, las funciones y propiedades de las invertasas en los tejidos de almacenamiento inmaduros difieren de las enzimas correspondientes en los tejidos maduros, aunque en ambos casos se mantienen mecanismos similares de acumulación de la sacarosa. Glasziou y Gayler (1972) consideran que la invertasa ácida soluble desaparece rápidamente después que cesa el alargamiento celular. Hatch (citado por Martin, 1987) encontró que esta última enzima presenta variaciones con el clima, incrementando su actividad con el aumento de la temperatura; por el contrario, cuando ésta disminuye se incrementan la actividad de la invertasa neutra y el contenido de azúcares totales de los tejidos maduros. Estos hechos explican la importancia del clima, especialmente la temperatura, en la maduración de la caña de azúcar, y permiten deducir que en el almacenamiento de sacarosa en los tejidos maduros, intervienen tanto la invertasa ácida fijada en la pared celular como la neutra soluble.

Los estudios de Sacher y Glasziou (citados por Martin et al., 1987) en tejidos de caña maduros, indican que la síntesis de las invertasas están reguladas por auxinas y por un sistema retroalimentador que depende de los niveles de hexosas libres, las cuales controlan la actividad enzimática. Se ha determinado que la hidrólisis de la sacarosa es el factor que limita la celeridad de almacenamiento de este metabolito en los tejidos inmaduros. Esta hidrólisis se debe principalmente a la invertasa ácida soluble.

Se sabe que el crecimiento es una consecuencia directa de la respiración, pues ésta libera energía que es aprovechada por la planta para activar su elongación. Esta energía liberada proviene del gasto de los hidratos de carbono acumulados; por lo tanto, se insiste en la relación crecimiento/respiración/temperatura y su efecto en el almacenamiento de azúcares.

Según Clements (citado por Humbert, 1940), la producción de azúcar (asimilación) depende, principalmente, de la energía solar en forma de calor y luz, mientras que la utilización de azúcares (desasimilación) depende, en gran parte, de la humedad y del crecimiento. El balance entre la producción y la utilización se refleja en el contenido de sacarosa de la planta.

Antes de la maduración del tallo debe ocurrir un retardo en su tasa de crecimiento, lo cual es estimulado, entre otros factores, por las bajas temperaturas y la sequía moderada. Sin embargo, Clements al estudiar el desarrollo de la caña en dos localidades de Hawaai, concluyó que las diferencias en rendimiento se deben más a la incidencia de la luz solar que al efecto de la temperatura.

El contenido de humedad en los tallos durante el período de maduración y cosecha es importante para asegurar una óptima concentración de los azúcares. Cuando decrece el contenido de humedad en la planta, la deshidratación conduce a la conversión de los azúcares reductores en sacarosa.

La maduración se puede regular mediante el control de las aplicaciones de nitrógeno y los riegos en la época final de crecimiento para favorecer la acumulación de sacarosa. Por otro lado, las condiciones ideales para la maduración fisiológica de la caña se pueden alterar en forma desfavorable por altas temperaturas; fotoperíodos cortos después de fotoperíodos largos que aceleran la fase reproductiva; niveles freáticos altos como consecuencia de lluvias abundantes, riegos frecuentes y malos drenajes.

En resumen, la capacidad de la planta de caña para producir sacarosa (azúcar comercial) depende de la variedad, el manejo del cultivo, y de los factores climáticos como precipitación, luminosidad y oscilación de la temperatura. El conocimiento de estos factores y sus efectos en la acumulación de sacarosa y otros productos, permitirá un manejo eficiente del cultivo y una mayor producción a nivel de campo y de fábrica.

### **Manifestaciones externas de la maduración**

Cuando las condiciones son favorables para la maduración, las hojas en el cogollo, que normalmente son entre 12 y 15, se reducen a un número entre 6 y 10, si la variedad tiene buen deshoje natural. Como resultado de la disminución en el crecimiento y el acortamiento de los entrenudos, se forma una estructura similar a una palma y parece que todas las hojas salieran de un solo entrenudo. El color de las hojas se torna amarillo y la textura delgada y quebradiza. Los tallos desprenden la cera y cambian de color. Cuando la planta no se cosecha a tiempo, las yemas en la parte superior del tallo brotan y puede aparecer una médula corchosa dando como resultado la muerte del tallo (Buenaventura, 1986).

### **Manifestaciones internas de la maduración**

Las manifestaciones internas de la maduración de la planta se refieren al contenido de humedad de algunos de sus tejidos, el brix del tallo y el contenido de sacarosa del mismo. La humedad se considera como el factor más importante para determinar la maduración del tallo; por tal razón, los programas de maduración de un cultivo se basan en el control del suministro de agua para reducir el crecimiento y favorecer la concentración de azúcares (Buenaventura, 1986).

## **Factores que Afectan la Maduración**

Existen varios factores que actúan en forma combinada y determinan el rendimiento de la caña; entre ellos los más importantes son: la humedad en el suelo, la temperatura del aire, la luminosidad, la nutrición vegetal, y la floración.

### **La humedad**

La humedad interna en la planta de caña es el factor dominante para la síntesis y traslocación de los azúcares. Cuando la planta se encuentra en desarrollo requiere un suministro adecuado de agua que le permita absorber los nutrimentos del suelo, transportarlos al tallo y asimilarlos para realizar los procesos fisiológicos. Al momento del corte, es necesario reducir el contenido de humedad para aumentar la calidad del jugo.

Si el contenido de humedad en el suelo es bajo, la cantidad de agua presente en los entrenudos más jóvenes disminuye y como resultado el crecimiento se reduce en forma gradual y prácticamente cesa cuando se alcanza el punto de marchitamiento. Cuando el desarrollo de la planta se retarda, disminuye la demanda de azúcares y éstos se almacenan en los tallos. En algunas regiones se hacen programas de maduración mediante el agostamiento de las plantas, que consiste en reducir el suministro de agua para estimular la concentración de azúcares en los tallos. Sin embargo, cuando la humedad en el suelo se recupera por las lluvias o por el riego, se puede reiniciar el desarrollo vegetativo del cultivo, lo que disminuye la calidad de los jugos.

### **La temperatura**

Este factor es, quizás, el que más influye en la maduración de la caña de azúcar. Desafortunadamente, los factores climáticos, en especial la temperatura, no se pueden controlar, pero sí se conocen sus cambios a través del tiempo; por lo tanto, es posible manejar el ciclo del cultivo, adaptándolo a las condiciones del clima.

La temperatura afecta la absorción de agua y nutrimentos por la planta, limitando o acelerando su crecimiento y desarrollo. En las zonas subtropicales, las bajas temperaturas en el invierno reducen, casi totalmente, el crecimiento de la caña debido a que afectan la formación de la clorofila y la absorción de nitrógeno y potasio, aun cuando los niveles de estos nutrimentos sean adecuados en el suelo.

En estas condiciones, las hojas inferiores de la planta se secan en forma prematura y mueren, mientras que las hojas superiores toman un color verde-amarillento.

En condiciones tropicales, la temperatura tiene su mayor efecto sobre la calidad del jugo en los períodos secos, cuando la diferencia entre las temperaturas máxima y mínima oscila entre 11 y 12 °C, lo cual estimula el almacenamiento de sacarosa. En las épocas lluviosas esta oscilación es menor y los rendimientos decrecen; por tal razón, estos períodos se aprovechan para el mantenimiento de los equipos en los ingenios azucareros.

En zonas como la Costa Atlántica de Colombia y en la mayoría de los países subtropicales, la humedad y la temperatura sólo permiten la cosecha de la caña durante una época del año, que se conoce como zafra.

### **La luminosidad**

La luz es la fuente principal de energía para la fotosíntesis, y la caña de azúcar es uno de los cultivos que mejor la aprovecha. La disminución en la intensidad de la luz trae como resultado una reducción en la elaboración y el almacenamiento de azúcares, y una acumulación de almidones en las hojas.

Martín y Eckart (citados por Humbert, 1970), demostraron que al disminuir la intensidad de la luz aumenta la altura de los tallos primarios; el desarrollo de los tallos secundarios se retarda; las hojas se tornan angostas, alargadas y quebradizas; el desarrollo de las raíces se reduce; aumenta la clorofila en las hojas hasta cierto nivel y después empieza a decrecer, ocasionando una reducción en el porcentaje de materia seca.

### **Los nutrimentos**

Los nutrimentos afectan el crecimiento y desarrollo de la planta y su maduración. El nitrógeno es esencial durante la etapa inicial de desarrollo para obtener altas producciones de caña; sin embargo, cuando se aplica en exceso tiene un efecto negativo en la calidad del jugo. Para una adecuada maduración es necesario que este nutrimento se mantenga en las hojas en niveles bajos hacia el final del período vegetativo. Las aplicaciones de nitrógeno se deben hacer en los primeros meses de desarrollo del cultivo (entre 2 y 6 meses) y no más tarde, para suspender así el desarrollo vegetativo de la planta y favorecer la acumulación de sacarosa. La aplicación excesiva de fertilizantes y de materia orgánica o riegos continuos con efluentes de las fábricas dificultan la maduración adecuada de la caña.

El fósforo es clave para la buena calidad de los jugos. Se estima que, para obtener una buena clarificación en los procesos de obtención de azúcar y en la elaboración de panela, se requiere una concentración mínima en el jugo de 300 mg/l de  $P_2O_5$ . Además de su importancia para la clarificación, como constituyente del ácido nucleico, el fósforo es esencial para el desarrollo de la planta. Los compuestos fosfatados intervienen en el proceso de respiración y en la utilización del nitrógeno; por lo tanto, tienen especial importancia en el proceso de maduración.

El potasio y su relación con el contenido de nitrógeno afectan el desarrollo del cultivo y su rendimiento. Cuando el contenido de nitrógeno de los tejidos es alto y el de potasio es crítico, la humedad y los azúcares reductores en la planta son altos, la sacarosa y la pureza son bajas, y el rendimiento, por lo tanto, es menor. A medida que disminuye el contenido de nitrógeno y aumenta el de potasio, la humedad y los azúcares reductores bajan y se incrementan la sacarosa y la pureza, mejorando la calidad de los jugos.

### **La floración**

Es un proceso natural que ocurre cuando las plantas completan su ciclo vegetativo e inician el período reproductivo. Las variedades de caña de azúcar no florecen con la misma intensidad, ya que existen factores genéticos que regulan la floración y factores ambientales que la inducen; entre estos últimos, el fotoperíodo es el que más incide. Se ha demostrado que un fotoperíodo amplio induce la formación del primordio floral en las variedades que son sensibles a florecer en condiciones naturales.

Cuando ocurre la floración, la planta suspende la formación de nuevos entrenudos y promueve la formación de yemas laterales; se inicia, entonces, la formación de una médula corchosa en la parte superior del tallo que se extiende hacia abajo, dependiendo principalmente de las condiciones de humedad. En condiciones de sequía, esta médula de corcho ocupa gran parte del tallo y contiene poco jugo; en consecuencia, cuando los tallos se procesan hay una mayor producción de fibra y bajo rendimiento de azúcar.

El efecto de la floración en el rendimiento de azúcar y en el peso de la caña, depende de la edad del cultivo y de la intensidad de aquélla. En condiciones ambientales favorables, la producción es menor cuando la floración ocurre en plantas aún jóvenes; pero si la floración ocurre cuando la planta se encuentra en período de maduración, las pérdidas en el peso son mínimas y el rendimiento en azúcar puede, inclusive, aumentar ya que al cesar el crecimiento del tallo se favorecen la acumulación y el almacenamiento de sacarosa. Sin embargo, el período de tiempo entre la floración y la cosecha debe ser corto para evitar la formación de médula corchosa y la inversión de la sacarosa.

## **Maduración de la Caña de Azúcar en el Valle Geográfico del Río Cauca**

El valle geográfico del río Cauca constituye, por su ubicación y condiciones ecológicas, una de las cuatro regiones del mundo ideales para el cultivo de la caña de azúcar. El valle tiene un área total aproximada de 500,000 ha, de las cuales 185,000 están cultivadas con caña. Está localizado entre 3° 05' y 5° 01' de latitud norte y a 76° 12' de longitud oeste. El promedio de temperatura es de 23.8 °C con una oscilación de 11.5 °C. La precipitación, promedio anual, es de 1000 mm distribuida en dos períodos de lluvias; el primero, entre marzo y mayo; y el segundo, entre octubre y noviembre.

La producción de caña es, en promedio, de 125 t/ha, con un promedio de rendimiento en azúcar de 10.5%. La cosecha se hace durante todo el año; sin embargo, las altas precipitaciones en las épocas de lluvias y los problemas de drenaje no permiten una maduración adecuada en algunas zonas, causando una disminución significativa en la cantidad de azúcar recuperada. Las variaciones en la luminosidad, las oscilaciones en la temperatura y en las precipitaciones de la región, originan cambios en el contenido de sacarosa que, normalmente, se encuentran entre 11.5% y 13.5%, dependiendo de la variedad, la localización y la época de cosecha (Figura 1). En los períodos de menor precipitación y de amplia oscilación en la temperatura, se alcanzan los máximos contenidos de sacarosa; por el contrario, en los meses lluviosos y cuando la oscilación de la temperatura es menor, ocurre lo contrario.

Además de los factores ambientales, en la región se ha encontrado que el contenido de sacarosa está también relacionado con la variedad. Así, variedades como CP 57-603, MZC 74-275 y Mex 52-29 tienen altos contenidos de sacarosa, mientras que las variedades Co 421, PR 12-48 y 61-632 presentan contenidos medios de sacarosa y producen alto tonelaje de caña.

Para aumentar el contenido de sacarosa en condiciones adversas, se pueden aplicar productos químicos que regulan el crecimiento y aceleran la maduración. No obstante, su efectividad depende de factores como el producto utilizado, la dosis, la época de aplicación, la variedad de caña y el tiempo transcurrido entre la aplicación y la cosecha.

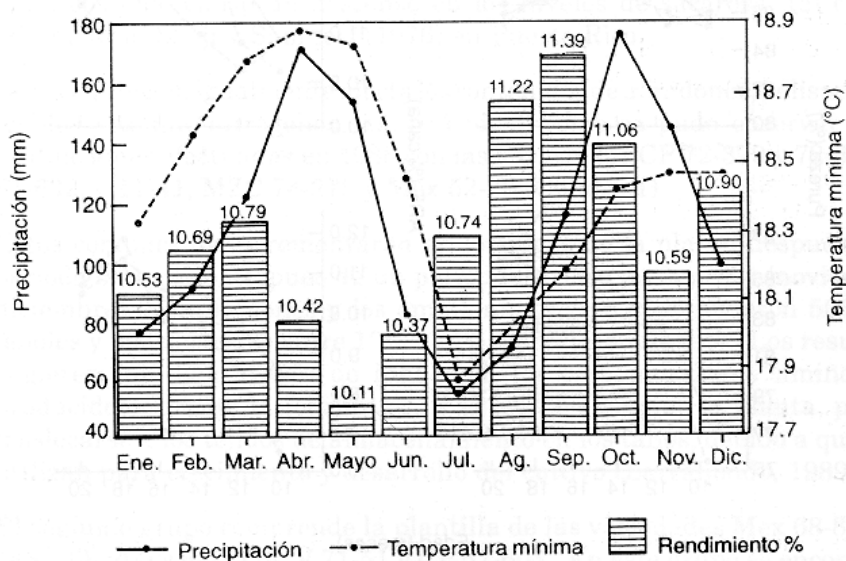


Figura 1. Efecto de la precipitación y de la temperatura mínima mensuales sobre el rendimiento (%) de la caña de azúcar en el valle geográfico del río Cauca. (Promedios entre 1970-1989). FUENTE: Cock et al., 1993.

## Diferencias Varietales y Características Químicas durante la Maduración

En las evaluaciones realizadas desde 1985 con variedades de caña comerciales y promisorias, cultivadas en las condiciones de la estación experimental San Antonio del Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia (CENICAÑA), se han encontrado diferencias significativas durante la maduración en los contenidos de sacarosa, almidones, polisacáridos solubles, precursores de color (fenoles, amino-nitrógenos) y fibra. Hasta 1991, se habían evaluado las variedades CP 72-370 y 72-356, MZC 74-275, PR 61-632 y 11-41, Mex 52-29, 68-808, 64-1214, 64-1487 y 68-200, V 71-51, CC 82-28, 82-04, 83-07, 83-25, 83-29, 82-27 y 82-26 y CP 57-603, que se agrupan de la manera siguiente:

1. El primer grupo está formado por las variedades CP 72-370 y 72-356, MZC 74-275, Mex 52-29, PR 61-632 y 11-41 (Figura 2). La tres primeras maduraron entre 12 y 16 meses y presentaron niveles de pureza y azúcar

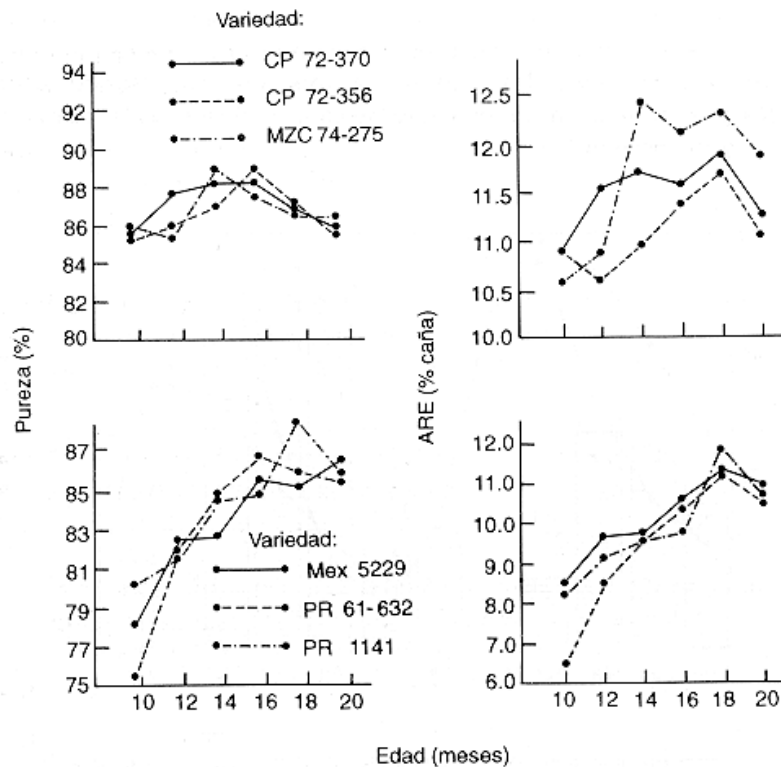


Figura 2. Curvas de maduración de las variedades de caña CP 72-370 y 72-356, MZC 74-275, Mex 52-29, PR 61-632 y 11-41, cultivadas en un suelo arcillo-limoso de la serie Manuelita. Valle del Cauca, Colombia.

recuperable superiores a 84% y 10.5%, respectivamente. Por el contrario, las variedades PR 61-632 y 11-41 mostraron una maduración tardía, alcanzando una buena acumulación de sacarosa y alta pureza entre 16 y 20 meses de edad. En relación con el contenido de compuestos diferentes a la sacarosa, se encontraron en este grupo variaciones significativas con la edad y la época de corte en los niveles de almidón (Figura 3, Cuadro 1). La concentración más alta se encontró cuando la caña llegó a su máxima maduración, época en la cual se observó una relación positiva entre los niveles de almidón y los fosfatos, de manera similar a la reportada por Chen (1968) en Taiwan. Las variedades CP 72-370 y 72-356 presentaron una mayor concentración de almidón en los jugos, que podría dificultar el procesamiento de la caña en la fábrica (Imrice y Tilbury, 1972).

En las evaluaciones realizadas por CENICAÑA, se ha observado que durante la maduración de las variedades ocurre un incremento de la fibra con la edad del cultivo, siendo mayor el porcentaje de este compuesto en el momento de la máxima maduración de la planta. Así, por ejemplo, en este primer grupo se encontró que todas las variedades presentaron valores de fibra que oscilaron entre 10.5% y 15% (Figura 4).

La influencia de la precipitación en la calidad de la caña se puede observar en las variedades CP 72-370 y 72-356, PR 61-632 y 11-41, MZC 74-275 y Mex 52-29 (Cuadros 1 y 2). El mayor contenido de sacarosa en estas variedades se encontró cuando antes del corte se presentó un período de baja precipitación. Por el contrario, una alta precipitación acumulada 1 ó 2 meses antes de la cosecha, causó un descenso en los niveles de sacarosa, tal como lo encontraron Shoji y Samuels (1976) en Puerto Rico.

La precipitación igualmente afecta los contenidos de almidones, polisacáridos, fenoles y amino-nitrógenos (aminoácidos), como se pudo observar en las evaluaciones efectuadas en 1988 con las variedades CP 72-370 y 72-356, PR 61-632, y 11-41, MZC 74-275 y Mex 52-29 (Cuadro 1).

Estos compuestos incrementaron en los jugos de la planta después de un período seco, pero después de un período lluvioso de 2 meses (noviembre a diciembre), los almidones y los amino-nitrógenos disminuyeron 50% y los fenoles y polisacáridos entre 10% y 24%, aproximadamente. Los resultados sugieren que bajo estrés de humedad, los carbohidratos y aminoácidos producidos durante la fotosíntesis y el metabolismo de la planta, podrían traslocarse a los tejidos de almacenamiento en los tallos, debido a que no se utilizan para crecimiento y desarrollo del cultivo (Larrahondo, 1989).

2. El segundo grupo comprende la plantilla de las variedades Mex 68-808, 64-1487, 68-200 y 64-1214, V 71-51 y CP 57-603. En este grupo se encontraron diferencias varietales en los contenidos de sacarosa y no-sacarosa de los jugos (Cuadros 3 y 4). Las variedades Mex 64-1487 y 68-808, V 71-51 y CP 57-603 sobresalieron por su contenido de sacarosa a la edad de máxima maduración, que ocurre entre 18 y 20 meses.

3. El tercer grupo, resultante del proceso de selección realizado en el Programa de Variedades de CENICAÑA, está formado principalmente por variedades colombianas (CC), de las series 82 y 83. En este grupo, al igual que en el anterior, se encontraron diferencias en los contenidos de sacarosa y compuestos no-sacarosos durante el ciclo de maduración de la planta. El mayor contenido de sacarosa y el máximo rendimiento potencial de azúcar se encontró en las variedades CC 83-25 y 83-07 y CP 57-603, siendo esta última una variedad testigo (Cuadro 5). Igualmente se observó un incremento en el

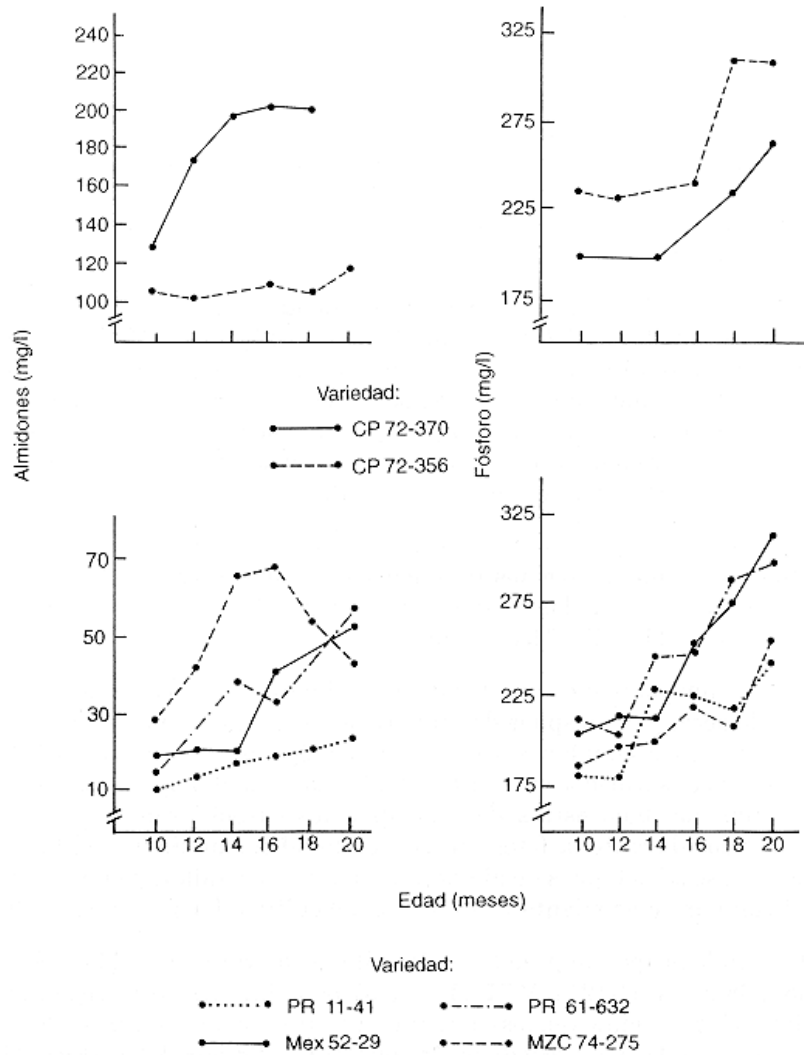


Figura 3. Variaciones en el contenido de almidones y fosfatos durante el desarrollo vegetativo de seis variedades de caña de azúcar. Valle del Cauca, Colombia.

Cuadro 1. Cambios en la composición química de los jugos de seis variedades de caña de azúcar (segundo corte) en diferentes períodos del año. Valle del Cauca, Colombia.

Variedad <sup>a</sup>	Almidones			Polisacáridos			Fenoles <sup>b</sup>			Amino-nitrógenos <sup>c</sup>			K			P		
	(mg/l)			(mg/l)			(mg/l)			(mg/l)			(% brix)			(mg/l)		
	Abr.	Oct.	Dic.	Abr.	Oct.	Dic.	Abr.	Oct.	Dic.	Abr.	Oct.	Dic.	Abr.	Oct.	Dic.	Abr.	Oct.	Dic.
CP 72-370	290	160	138	1.17	0.79	0.74	840	782	712	325	226	158	1.32	1.37	1.51	202	206	233
CP 72-356	84	52	61	0.72	0.60	0.54	686	636	590	219	90	108	1.27	1.43	1.48	225	224	257
MZC 74-275	59	46	34	0.52	0.47	0.47	627	579	560	162	108	54	1.00	1.10	0.95	175	213	176
Mex 52-29	41	28	27	0.59	0.45	0.54	573	519	535	224	156	115	1.32	1.32	1.51	201	232	262
PR 61-632	53	37	28	0.51	0.40	0.40	594	560	585	262	176	130	1.09	1.08	1.07	218	212	208
PR 11-41	23	19	14	0.50	0.43	0.35	506	495	416	252	158	105	1.48	1.62	1.74	194	225	222
Promedio	92	57	50	0.67	0.52	0.51	638	595	566	241	170	112	1.29	1.32	1.38	202	219	226

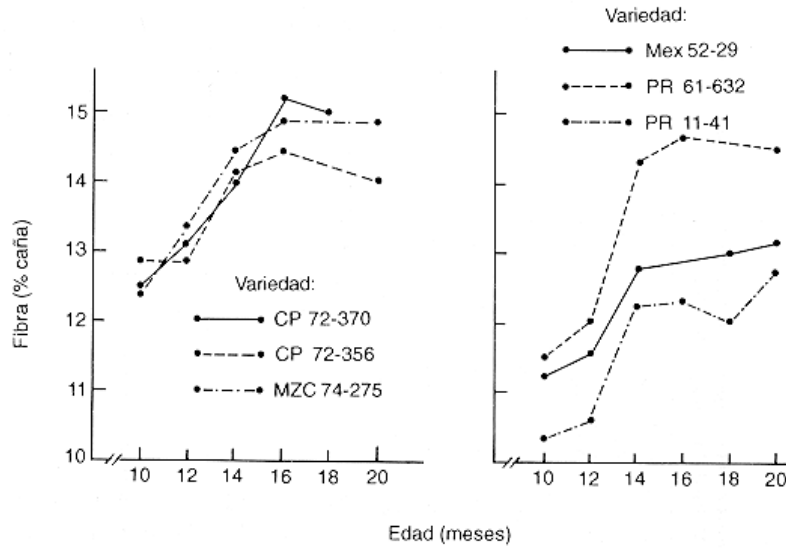
Precipitación (mm): abril = 15.2; octubre = 108.2; diciembre = 140.0

- Cosechadas en 1988 entre 10 y 20 meses.
- Promedio equivalente en ácido cafeico.
- Promedio equivalente en ácido glutámico.

**Cuadro 2. Promedio de azúcar recuperable estimado (ARE, % caña) en la plantilla y primera soca de seis variedades de caña de azúcar, cosechadas entre 10 y 20 meses de edad, en diferentes períodos del año. Valle del Cauca, Colombia.**

Variedad <sup>a</sup>	Plantilla cosechada en: <sup>b</sup>			Primera soca cosechada en:		
	Mayo	Septiembre	Noviembre	Abril	Octubre	Diciembre
CP 72-370	10.15	12.79	11.25	11.23	10.25	9.42
CP 72-356	9.73	12.38	11.35	10.33	9.80	9.85
MZC 74-275	10.70	12.17	11.64	11.29	10.93	10.50
Mex 52-29	9.18	11.03	9.50	9.41	9.40	8.48
PR 61-632	7.40	10.50	9.89	10.11	9.70	9.85
PR 11-41	8.15	11.10	9.64	9.10	9.12	7.67
Promedio	9.22	11.66	10.54	10.28	9.87	9.15
Precipitación <sup>c</sup>	199	31	241	15.2	108	140

- a. Cosechada durante 1986.
- b. Cosechada durante 1988.
- c. Precipitación acumulada (mm) antes del corte.



**Figura 4. Variaciones en el porcentaje de fibra según la edad de las variedades CP 2370 y 72-356, MZC 74-275, Mex 52-29, PR 61-632 y 11-41, cultivadas en un suelo arcillo-limoso de la serie Manuelita, valle del Cauca, Colombia.**

Cuadro 3. **Promedios del contenido de carbohidratos en los jugos de caña de azúcar de seis variedades, cosechadas entre los 10 y 20 meses de edad. Valle del Cauca, Colombia.**

Variedad	Sacarosa (% HPLC)*	Glucosa (% HPLC)	Fructosa (% HPLC)	Polisacáridos solubles (mg/ml)	Almidones (mg/l)
CP 57-603	18.9 a**	0.26 cd	0.25 d	0.64 a	150 a
Mex 68-808	17.7 b	0.33 b	0.34 ab	0.45 b	90 c
Mex 64-1487	17.4 bc	0.29 bc	0.28 cd	0.43 b	56 d
Mex 68-200	16.5 cd	0.23 d	0.23 d	0.63 a	107 b
V 71-51	16.3 d	0.28 bcd	0.30 bc	0.43 b	40 e
Mex 64-1214	15.3 e	0.43 a	0.39 a	0.44 b	55 d

\* HPLC = "High performance liquid chromatography"

\*\* Valores promedios en una misma columna seguidos por letras iguales no difieren en forma significativa ( $P < 0.05$ ), según la prueba de Duncan.

Cuadro 4. **Rendimientos (%), fibra (%) y concentración de productos no-sacarosos en los jugos de seis variedades de caña cosechadas en el estado de máxima maduración.**

Variedad	Edad (meses)	Rendimiento (%)	Fibra (% caña)	Concentración de productos no-sacarosos (mg/l)			
				Polisacáridos solubles	Almidones solubles	Fenoles <sup>a</sup>	Amino- nitrógenos <sup>b</sup>
CP 57-603	18	12.3	15.5	780	220	680	97
Mex 68-808	20	11.7	14.0	470	110	651	155
Mex 64-1487	20	11.6	13.4	442	61	981	93
Mex 68-200	16	10.7	14.5	643	93	868	149
V 71-51	18	11.5	14.5	520	51	845	83
Mex 64-1214	18	10.1	13.4	520	74	724	113

a. Concentración equivalente en ácido cafeico.

b. Concentración equivalente en ácido glutámico.

contenido de almidones en los jugos, a medida que la edad de las plantas aumentó, especialmente en las variedades CC 83-25 y 83-29 y CP 57-603. Por otra parte, los precursores de color (fenoles y amino-nitrógenos) durante la maduración de las variedades CENICAÑA siguieron un patrón similar al encontrado con las variedades comerciales CP 57-603 y MZC 74-275, reconocidas en la industria azucarera por su buena calidad de jugos y generación, bajo condiciones normales, de azúcar comercial con buen color.

Cuadro 5. **Variaciones en el rendimiento, contenido de sacarosa y polisacáridos totales de los jugos de cinco variedades CENICAÑA Colombia (en Plantilla), cosechadas en diferentes épocas del año a la edad de 12 meses. Estación Experimental de San Antonio, CENICAÑA, Valle del Cauca.**

Variedad	Rendimiento (%)			Sacarosa % HPLC			Polisacáridos (mg/ml)		
	Junio <sup>a</sup>	Diciembre <sup>a</sup>	Febrero <sup>b</sup>	Junio	Diciembre	Febrero	Junio	Diciembre	Febrero
CC 8228	12.5	6.8	12.2	18.4	12.9	21.0	0.33	0.29	0.41
CC 8204	10.3	11.5	11.3	19.4	19.4	19.4	0.42	0.50	0.56
CC 8307	10.1	10.7	12.9	17.6	18.0	21.6	0.32	0.33	0.49
CC 8325	10.8	10.4	11.8	18.5	17.8	20.4	0.40	0.38	0.60
CC 8329	11.5	10.5	11.4	19.4	17.5	19.4	0.50	0.39	0.50
CP 57603	10.9	10.3	11.6	17.6	17.5	19.8	0.39	0.35	0.47
Promedio	11.0	10.0	11.9	18.5	17.2	20.3	0.39	0.37	0.50
Precipitación (mm) <sup>c</sup>	31	150	30	31	130	30	31	150	30

a. Junio y diciembre de 1990.

b. Febrero de 1991.

c. Precipitación mensual (mm) acumulada antes del corte.

## **Métodos para Determinar el Grado de Maduración**

La determinación del momento adecuado para el corte de la caña, que corresponda a la máxima maduración o acumulación de sacarosa, determina en parte los rendimientos de azúcar. Existen varios métodos, que se basan en el contenido de humedad de los tejidos jóvenes, para determinar este momento. Clements, citado por Buenaventura (1986), desarrolló un método que consiste en el muestreo de yaguas de las hojas 3 a 6. Con este método se ha encontrado una alta correlación entre el porcentaje de humedad en estas yaguas y la concentración de sacarosa en el tallo. Con base en estos hallazgos, Clements propuso para Hawaii un programa de maduración consistente en disminuir el suministro de agua de riego, de tal forma que la humedad en las yaguas que 7 meses antes del corte es de 82%, se reduzca a 74% en la época de cosecha. Por otra parte, Humbert (1970) diseñó un método que se basa en el contenido de humedad de los entrenudos 8 a 10, encontrando una correlación significativa entre el descenso de la humedad en esta sección del tallo y el incremento en sacarosa. También se ha encontrado una buena correlación entre el descenso de humedad en la hoja más joven de la planta, denominada «hoja bandera», y la recuperación de azúcar, cuando este tejido se usa como indicador del grado de maduración (TECNICAÑA, 1986).

Otros métodos para conocer el grado de maduración de la caña se basan en la determinación en laboratorio, 3 ó 4 meses antes de la cosecha, de la sacarosa y los azúcares reductores presentes en el jugo y las relaciones entre ellos. En este sentido se ha encontrado que a medida que la caña madura, el contenido de sacarosa se incrementa, en tanto que los azúcares reductores disminuyen, siendo posible elaborar a partir de estos datos las curvas o gráficas de maduración para una determinada variedad (SASTA, 1977).

Visiva y Kasinath (citados por Humbert, 1970) encontraron que la determinación, con refractómetro de mano, del brix en los entrenudos superiores e inferiores del tallo y la relación entre ellos es un buen indicativo del grado de maduración de la caña. Este método, conocido con el nombre de índice de maduración, aún se usa. Una forma práctica para determinar la maduración con el refractómetro consiste en calcular la relación entre el brix del tercio superior y el de tercio inferior del tallo. Cuando la caña está inmadura, esta relación es menor de 1; pero cuando el valor es cercano a 1, la caña se considera adecuada para cosecha o corte.

Con el fin de evaluar los índices de maduración y determinar un método confiable y efectivo para la industria azucarera colombiana, CENICAÑA en colaboración con el Ingenio Central Castilla, realizó una serie de evaluaciones con las variedades comerciales CP 57-603 y POJ 28-78. En ellas se determinaron:

- la humedad de las yaguas en las hojas 3 a 6;
- la humedad de los entrenudos 8 a 10;
- la humedad de la hoja 0 (no abierta, “hoja bandera”); y
- el brix de los tercios inferior, medio y superior del tallo.

En cada variedad, las muestras de los tejidos respectivos se recolectaron cada mes, entre 10 y 15 meses de edad de la planta. Los resultados obtenidos para cada índice de maduración se correlacionaron con el contenido de azúcar recuperable (ARE, % caña). Los coeficientes de correlación encontrados se incluyen en el Cuadro 6, donde se observa que las mejores correlaciones en ambas variedades se obtuvieron con el brix refractométrico en los tercios medio e inferior del tallo. La Figura 5 muestra la relación entre el ARE (% caña) y el brix de la sección media. En el mismo estudio se encontró que la correlación entre la humedad de las yaguas y de los entrenudos fue baja, y que entre el ARE (% caña) y la humedad de la hoja no existió correlación.

Las medidas del brix, que se hacen en el campo con el refractómetro de mano en los tercios medio e inferior de los tallos, son sencillas, fáciles de realizar y tienen buena precisión en la determinación del grado de maduración. Por lo tanto, este método podría adoptarse para conocer el índice óptimo de maduración en aquellos casos donde por el costo y las dificultades, no se dispone de un servicio analítico completo de calidad de la caña.

Cuadro 6. **Coefficientes de correlación entre el ARE (% caña) y los índices de maduración de la caña de azúcar determinados a partir del brix y de la humedad (%). Valle del Cauca, Colombia.**

Variedad	Brix (%) en sección del tallo:				Porcentaje de humedad en:	
	Superior	Media	Inferior	Promedio	Entrenudo 8 a 10	Yaguas 3 a 6
CP 57-603	0.25	0.87	0.80	0.52	-0.57	-0.55
POJ 2878	0.72	0.88	0.84	0.86	-0.27	-0.55

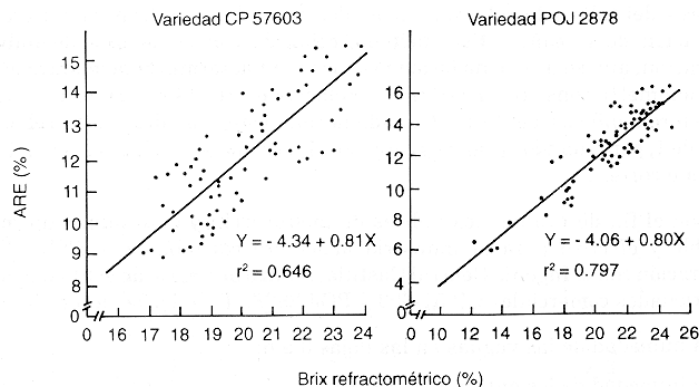


Figura 5. *Relación entre el brix refractométrico de la sección media de los tallos de caña de azúcar y el ARE en dos variedades de caña. Valle del Cauca, Colombia.*

## Referencias

- Buenaventura O., C. E. 1986. Control de maduración de la caña de azúcar. En: El cultivo de la caña de azúcar, Sociedad Colombiana de Técnicos de la Caña de Azúcar (TECNICAÑA). Memorias de un curso dictado en Cali, julio 28-agosto 1, 1986. p. 299-307.
- CENICAÑA (Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia). 1984. Control de maduración y calidad de la caña de azúcar. En: Informe Anual del Programa de Agronomía 1984. Cali, Colombia. p. 73-74.
- Chen, W. 1968. A study of the role of starch in the growth of sugar cane and the manufacturing of cane sugar. Intern. Soc. Sugar Cane Techn. (ISSCT). Proceedings 13:351-361.
- Cock, J.; Luna, C. A.; y Palma, A. 1993. El clima y el rendimiento en caña de azúcar. En: Foro sobre avances técnicos en el sector azucarero colombiano. Resúmenes. Octubre 6 a 7 de 1993. Centro de Investigaciones de la Caña de Azúcar de Colombia (CENICAÑA). Serie técnica no. 12. 70 p.
- Deuer, R. 1988. Maduração da cana-de-acúcar na região sudeste do Brasil. En: Seminario de Tecnología Agronómica, 4, Piracicaba. Anais. Copersucar, São Paulo. p. 33-40.
- Glasziou, K. T. y Gayler, K. R. 1972. Storage of sugars in stalks of sugar cane. Bot. Rev. 38(4):471-490.
- Humbert, R. P. 1970. El cultivo de la caña de azúcar. Traducido por Alfonso González. 2a. Edición. México. p. 503-562.
- Imrice, F. K. y Tilbury, R. H. 1972. Polysaccharides in sugar cane and its products. Sugar Technol. Rev. 1:291-361.
- Larrahondo, J.E. y Torres, J. S. 1990. Características químicas de variedades promisorias de caña de azúcar en Colombia. Ann. Asoc. Quím. Argent. 78(6):347-353.
- \_\_\_\_\_; Yang, S.; y Villegas, F. 1989. Chemical and ripening characteristics of sugar cane in Colombia. En: Congress of the International Society of Sugar Cane Technologist (ISSTC), 20th, São Paulo, Brasil. p. 591-598.
- Martin, J. R.; Gálvez, G.; De Armas, R.; Espinosa, R.; Vigoa, R.; y León, A. 1987. La caña de azúcar en Cuba. 1a. Ed. Editorial Científico-Técnica La Habana. La Habana, Cuba. 612 p.
- Meade, G. P. y Chen, J. P. 1977. Cane sugar handbook. 10 Ed. Wiley-Interscience Publications, John Wiley and Sons, Nueva York. 947 p.
- SASTA (South African Sugar Technologists' Association). 1977. Laboratory manual for South African sugar factories. 2a. Ed. Durban, Suráfrica. s.p.
- Shoji, K. y Samuels, G. 1976. A study of declining sucrose yields in Puerto Rico. International Society of Sugar Cane Technologist (ISSCT). Proceedings. 12:467-473.
- TECNICAÑA (Sociedad Colombiana de Técnicos de la Caña de Azúcar). 1986. El cultivo de la caña de azúcar. Cali, Colombia. 473 p.



### **Referencia bibliográfica**

LARRAHONDO, J.E.; VILLEGAS, F. Control y características de maduración. En: CENICAÑA. El cultivo de la caña en la zona azucarera de Colombia, Cali, CENICAÑA, 1995. p.297-313.

CENTRO DE INVESTIGACIÓN DE LA CAÑA  
DE AZÚCAR DE COLOMBIA - CENICAÑA

Estación Experimental: vía Cali-Florida, km 26

Tel: (57) (2) 6648025 - Fax: (57) (2) 6641936

Dirección postal: Calle 58 norte no. 3BN-110

Cali, Valle del Cauca-Colombia

[www.cenicana.org](http://www.cenicana.org)

[buzon@cenicana.org](mailto:buzon@cenicana.org)