

## Nota Técnica

**CONTENIDO DE CARBOHIDRATOS ASOCIADOS AL CRECIMIENTO  
Y DESARROLLO DE CUATRO VARIEDADES DE  
CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum sp*)<sup>1/\*</sup>**

*Janetsy Borroto<sup>2/\*\*</sup>, María A. Blanco<sup>\*\*</sup>, Yanet Tambara<sup>\*\*\*</sup>, Yanelys Capdesuñer<sup>\*\*</sup>, José Luis Golle<sup>\*\*\*\*</sup>,  
Adelaida Balbé<sup>\*\*\*\*</sup>, Maribel Rivas<sup>\*\*</sup>, Ana León<sup>\*\*\*</sup>, Josefa Hormaza<sup>\*\*\*</sup>, Hipólito Peralta<sup>\*\*\*\*</sup>*

**Palabras clave:** caña de azúcar, sacarosa, azúcares reductores, polisacáridos, oligosacáridos.

**Keywords:** sugarcane, sucrose, reductor sugar, polysaccharides, oligosaccharides.

## RESUMEN

Se analizó el contenido de carbohidratos durante la etapa de crecimiento y desarrollo de 4 variedades de caña de azúcar (*Saccharum sp*) en la Estación Provincial de Investigaciones de la Caña de Azúcar (EPICA) de Ciego de Avila, Cuba. El diseño empleado fue un bloques al azar con 4 tratamientos y 4 repeticiones, en el cual los tratamientos fueron variedades de caña de azúcar: C1051-73, CP52-43, C323-68 y My5514. Se analizó la biomasa y el contenido de carbohidratos. Las variedades mostraron un incremento de la biomasa durante el período de crecimiento. Además, se observó un incremento discreto en el contenido de sacarosa, aunque sin diferencias significativas entre las variedades.

## ABSTRACT

**Carbohydrate contents associated to growth and development of four sugarcane (*Saccharum sp*) varieties.** The carbohydrate contents during growth and development of 4 sugarcane (*Saccharum sp*) varieties were analyzed, at the Ciego de Avila Province Sugarcane Research Station, Cuba. The design used was a random block with 4 treatments and 4 replicates; the sugarcane varieties: C1051-73, CP52-43, C323-68 and My5514 were the treatments. Biomass and carbohydrate contents were evaluated. The varieties showed an increase of the biomass during the growth period. Besides, a discreet increase in sucrose content was observed, although differences among varieties were non-significant.

## INTRODUCCIÓN

La caña de azúcar es una de las especies de plantas terrestres más productivas (Moore y Marezki 1996). Potencialmente la caña puede producir alrededor de 45 t de masa seca ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, al considerar la parte aérea y, sobre esta base, puede producir 22 t azúcar ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>. Mundial-

mente, como promedio los rendimientos de azúcar solo alcanzan 15 t ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>. En Cuba, se ha obtenido rendimientos de 29 t de masa seca ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> en plantas sin fertilizar (Rodes *et al.* 1996). Los fotoasimilados producidos en las hojas se utilizan en la producción de energía y en la formación de la estructura de la planta, el resto se almacena en el tallo en forma de azúcar. La maduración

1/ Recibido para publicación el 14 de agosto del 2002.

2/ Autor para correspondencia. Correo electrónico: jborroto@bioplantas.cu

\* Parte de un Proyecto Nacional financiado por el Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA).

\*\* Centro de Bioplantas, Laboratorio de Ingeniería Metabólica, Universidad de Ciego de Avila, Ciego de Avila, Cuba.

\*\*\* Centro de Ingeniería Genética y Biotecnología, Unidad Analítica, La Habana, Cuba.

\*\*\*\* Universidad de Ciego de Avila, Departamento de Ciencias Biológicas, Ciego de Avila, Cuba.

de la caña de azúcar esta asociada con un incremento en la concentración de sacarosa en los tejidos de tallos maduros (Glasziou y Gayler 1972). En entrenudos maduros el contenido de sacarosa puede ser más del 50% del total de masa fresca. Los estudios realizados sobre bases bioquímicas han contribuido a comprender el proceso de acumulación de sacarosa en caña de azúcar.

La acumulación de azúcares está muy relacionada con la interacción de procesos de síntesis y degradación de la sacarosa (Zhu *et al.* 1997) y se conoce que en muchas especies de plantas estas vías son fuertemente reguladas por la fructosa 2,6-difosfato (Stitt 1997). Por otra parte, el proceso de maduración ocurre cuando la velocidad de crecimiento del tallo disminuye. Debido a que la capacidad de síntesis se hace mayor que el gasto de azúcares en los procesos de respiración y crecimiento, se produce una acumulación del exceso de azúcares formados.

El objetivo del trabajo fue establecer la dinámica de la biomasa y los niveles de carbohidratos asociados al crecimiento y desarrollo de 4 variedades de caña de azúcar.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Para el estudio de la dinámica del crecimiento se desarrolló un experimento de campo en la Estación provincial de investigaciones de la caña de azúcar (EPICA) de Ciego de Avila, Cuba, la cual se encuentra situada a 21° 46' de latitud norte y 78° 47' de longitud oeste. El experimento se desarrolló sobre un suelo Ferralítico Rojo compactado. El diseño experimental empleado fue un bloques completos al azar, el cual constó de 4 tratamientos (variedades de caña de azúcar: C1051-73, CP52-43, C323-68 y My5514) y 4 repeticiones. Cada parcela contó con 11 surcos de 7,5 m de largo, con un área total por parcela de 123,75 m<sup>2</sup>, de los cuales se tomó los 9 surcos interiores para las evaluaciones. La plantación se inició en la última semana del mes de marzo del 2000, con semilla básica de 11 meses, procedente de la EPICA de Ciego de Avila. Se plantó esquejes con 3 yemas, a razón de 10 yemas m<sup>-1</sup> y a una distancia entre surcos de

1,5 m. Las evaluaciones fueron realizadas mensualmente a partir del mes de noviembre del 2000, cuando las plantas contaban con 8 meses, hasta abril del 2001 a los 13 meses de edad.

Durante el período las variables climáticas se comportaron de forma similar a la media histórica de la región. En la figura 1 se muestra las precipitaciones ocurridas durante la etapa, en el mismo se indica los momentos en que se realizó los muestreos (noviembre-abril 2001).

## Algunas características de las variedades

La variedad C1051-73 es de escasa floración, rendimiento agrícola aceptable y se destaca por su alto y estable contenido de sacarosa. La C323-68 florece solamente en un bajo porcentaje en zonas localizadas del país, a partir de la segunda quincena de noviembre y termina en la segunda mitad de enero, su contenido azucarero es aceptable. La CP52-43 florece profusamente (más de 30%) en la primera quincena de noviembre, presenta un alto rendimiento agrícola y azucarero. La My5514 presenta floración escasa (enero a febrero), es de alto rendimiento agrícola y aceptable contenido azucarero. Ninguna de las variedades floreció en el período de experimentación.

Mensualmente se realizó evaluaciones fisiológicas del estado de desarrollo del cultivo y se tomó muestras para los análisis bioquímicos. En ambos casos se tomó 5 plantas al azar de cada parcela. Las evaluaciones realizadas fueron:

### Biomasa

Se determinó la biomasa de hojas, vainas y tallos. Estos se fraccionaron y para cada órgano se tomó una muestra representativa de 250-300 g. Las muestras se secaron en la estufa a 105°C. Se sumaron las biomásas (masas secas) de tallos, hojas y vainas, para determinar la biomasa total. Los resultados se expresan en g de masa fresca planta<sup>-1</sup> y en t ha<sup>-1</sup>.

### Determinación de azúcares

Los azúcares: sacarosa, glucosa, fructosa, polisacáridos y oligosacáridos (poli+oligo) en el

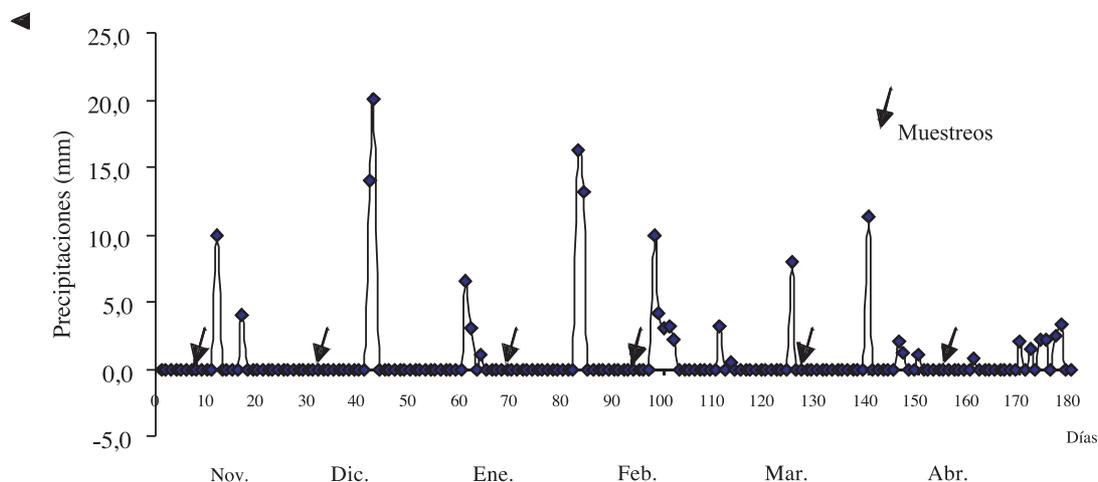


Fig. 1. Climatograma de las precipitaciones ocurridas durante el período de crecimiento y desarrollo de las 4 variedades de caña de azúcar en experimentación. Se refleja el período de experimentación (noviembre 2000–abril 2001).

jugo, fueron determinados por cromatografía líquida de alta calidad (HPLC). El equipo usado es de Pharmacia LKB, con un detector de índice de refracción y la columna de Bio Rad (300x7,8 mm) HPX-87H. Como eluyente se utilizó ácido sulfúrico 0,005 mol l<sup>-1</sup> y una razón de flujo de 0,3 ml min<sup>-1</sup>, la temperatura de análisis fue de 23°C. Los estándares de calibración utilizados fueron: sacarosa, glucosa, fructosa, rafinosa (oligosacárido) y dextrana T40 (polisacárido) (1% m v<sup>-1</sup>). Para la extracción se tomó 1 ml de jugo y se le añadió 3 ml de etanol absoluto. La solución se mantuvo toda la noche a 4°C, después se centrifugó a 10000 rpm a 4°C durante 5 min. El precipitado se tomó como los polisacáridos insolubles (mg). El sobrenadante se concentró hasta alcanzar el °Brix inicial del jugo. El jugo se pasó a través de un cartucho Sep-Pak C18 y se filtró en una membrana de 0,45 µm. El volumen de inyección fue de 20 µl. El contenido de polisacáridos totales se expresó como la suma de los polisacáridos insolubles (determinados por diferencia de pesadas)+los poli+oligo (determinados por HPLC), los azúcares reductores como la suma de glucosa+fructosa. Los resultados se expresaron como azúcares % °Brix.

### Análisis estadístico

La dinámica de las variaciones de todas las variables estudiadas respecto a la edad de la plantación, se ilustran mediante gráficos. Se realizó un análisis de variancia (ANOVA) y pruebas Duncan, una vez comprobada la distribución normal de cada muestra (Kolmogorov-Smirnov p<0,05) y la homogeneidad de las variancias (Bartlett p<0,05). Para el procesamiento se empleó el utilitario Statgraphic Plus.

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la figura 2 a y b se muestra la dinámica de las variaciones de la biomasa promedio para un tallo y una planta, respectivamente, en el período de noviembre-abril. Se aprecia como tendencia, un incremento para todas las variedades. A los 13 meses la My5514 mostró los valores mayores, lo cual corresponde con las características de la variedad sobre la producción de tallos grandes y pesados. Aunque las variaciones de la biomasa producida por 1 ha de cultivo (Figura 3 a,

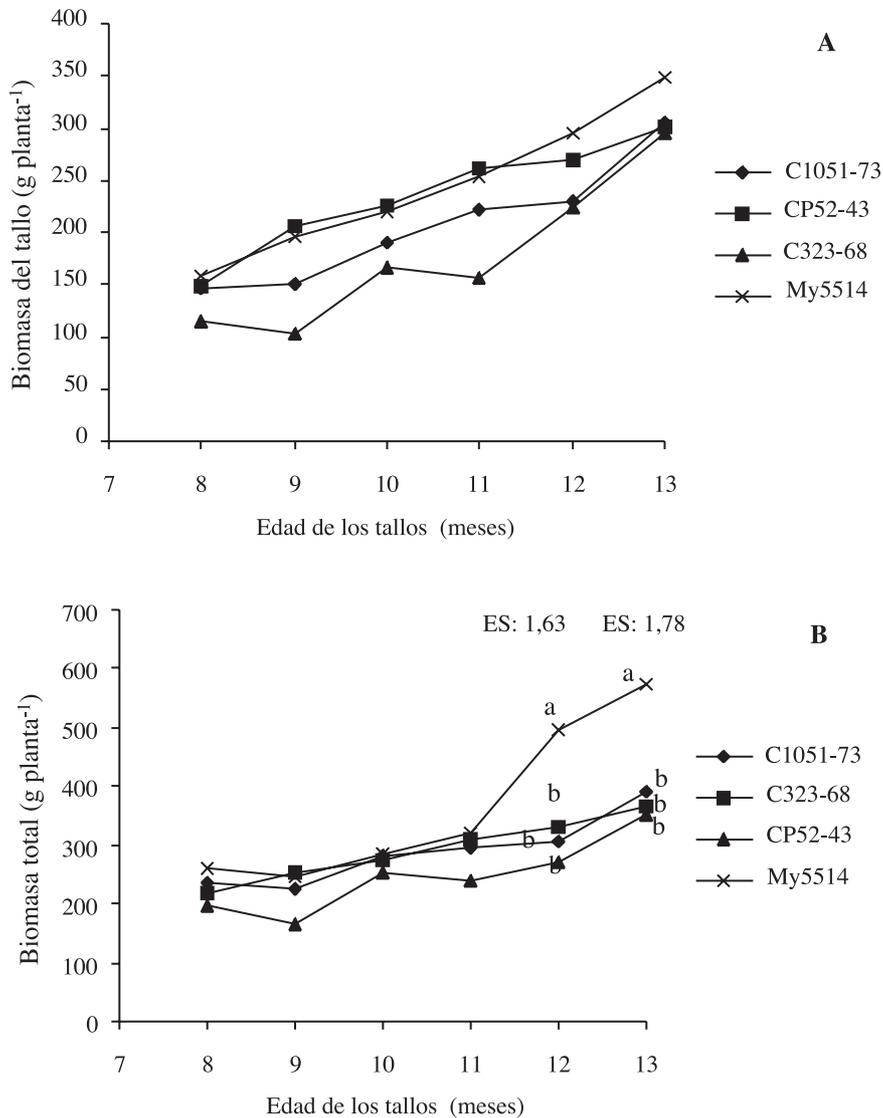


Fig. 2. Dinámica de la biomasa del tallo (A) y la biomasa total (B) de las 4 variedades estudiadas durante el ciclo de crecimiento y desarrollo expresada en g planta<sup>-1</sup>. Medias con letras iguales no difieren (ANOVA, Duncan  $p < 0,05$ ), ns (no significativo), ES (error estándar).

b) muestran para cada variedad una tendencia similar a la obtenida para 1 tallo y 1 planta, en la comparación entre éstas, el comportamiento es diferente ya que producen diferentes cantidades de tallos por ha. Es por ello que la My5514, que resultó superior en la masa promedio de 1 tallo y 1 planta, no difiere de las demás en la biomasa

por 1 ha, ya que produce menor número de tallos por plantón (Bernal *et al.* 1997).

En las publicaciones científicas sobre el tema se encuentra valores muy diversos para las biomásas del tallo y total de la parte aérea por ha, lo cual se debe a que éstas dependen de factores como: características varietales, edad del cultivo,

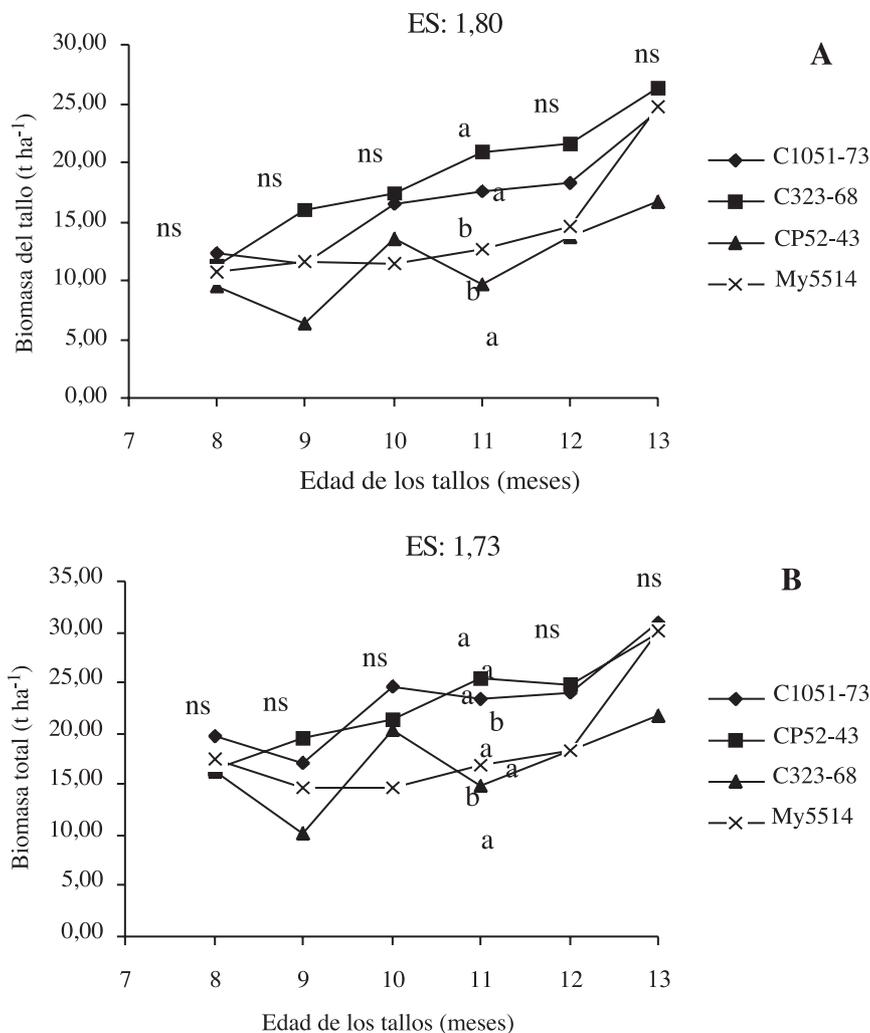


Fig. 3. Dinámica de la biomasa del tallo (A) y la biomasa total (B) de las 4 variedades estudiadas durante el ciclo de crecimiento y desarrollo, expresada en t ha<sup>-1</sup>. Medias con letras iguales no difieren (ANOVA, Duncan  $p < 0,05$ ), ns (no significativo), ES (error estándar).

prácticas culturales y condiciones climáticas. Robertson *et al.* (1996) encontraron valores hasta de 60 t ha<sup>-1</sup> de biomasa de tallos en Australia, Evenson *et al.* (1997) hasta 50 t ha<sup>-1</sup> en Hawaii, mientras que Moore y Maretzi (1996) señalan que esta planta puede producir hasta 45 t ha<sup>-1</sup> de biomasa total.

La concentración de los azúcares reductores (glucosa+fructosa) (Figura 4a) mostró una tendencia a la disminución durante todo el período

evaluado, sin diferencias significativas entre las variedades. En el mes de enero (10 meses) se aprecia una caída más pronunciada, que la tendencia general, en la disminución de estos azúcares, lo cual se debe al efecto de dilución que se produjo debido a la rápida absorción de agua por las planta, inmediatamente después que se incrementó la humedad del suelo, producto de las precipitaciones ocurridas en el período anterior (Figura 1). En el mes de marzo (12 meses), cuando el muestreo

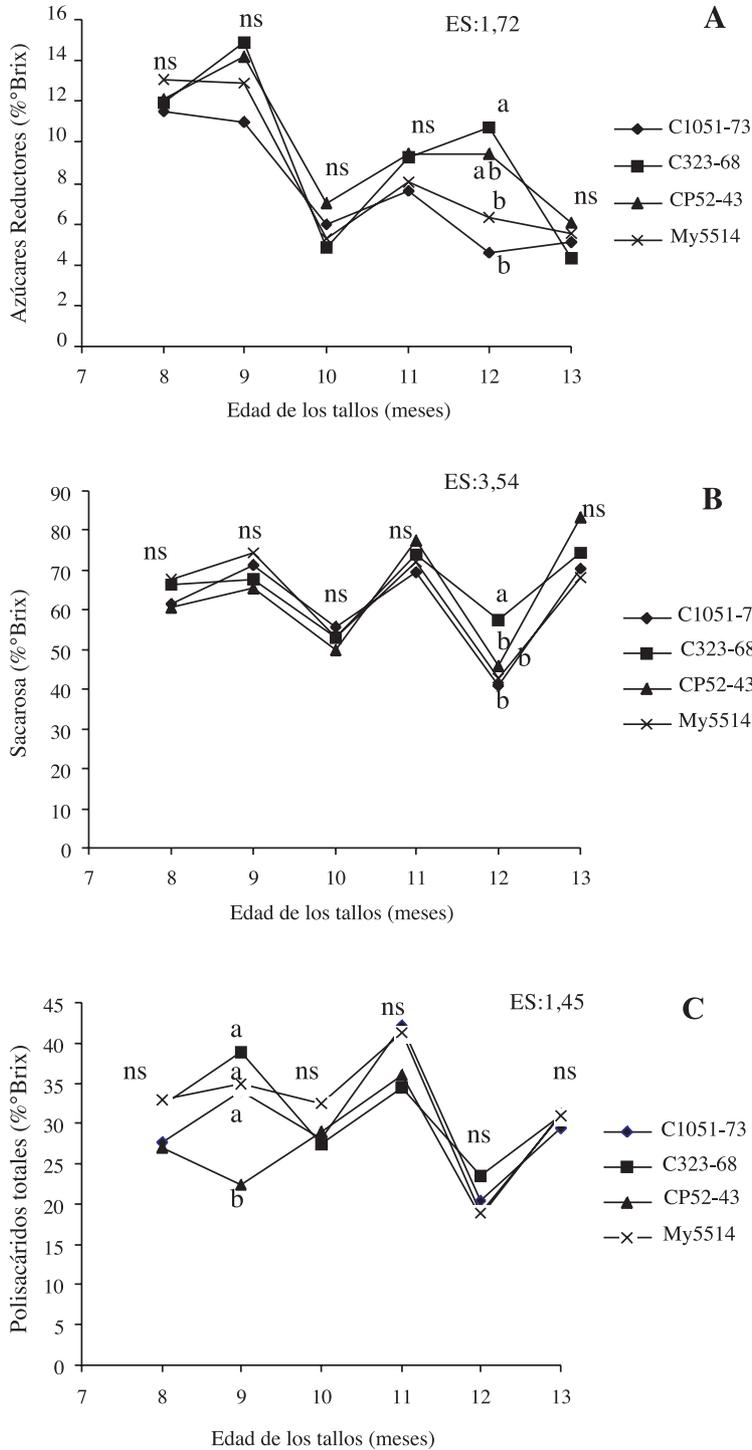


Fig. 4. Dinámica del contenido de azúcares reductores (glucosa + fructosa) (A), sacarosa (B) y poli+oligo (C) en 4 variedades de caña de azúcar. Medias con letras iguales no difieren (ANOVA, Duncan  $p < 0,05$ ), ns (no significativo), ES (error estándar).

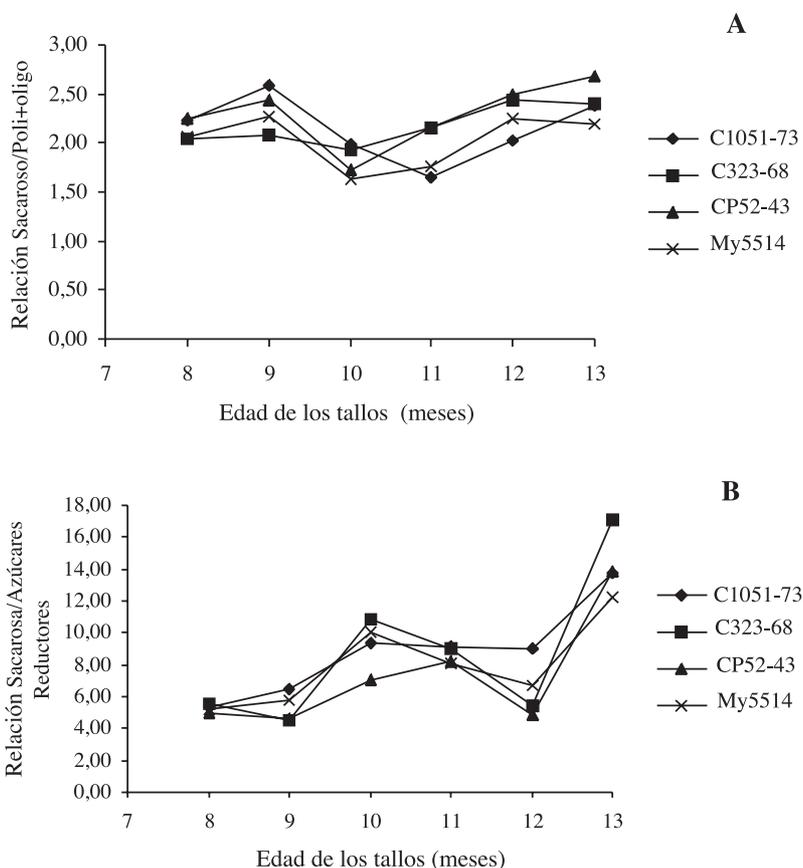


Fig. 5. Relación entre el contenido de sacarosa y los poli+oligo (A), entre el contenido de sacarosa y los azúcares reductores (B) en 4 variedades de caña de azúcar durante el ciclo de crecimiento y desarrollo.

se realizó también después de las precipitaciones en las variedades C1051-73, CP52-43, My5514 se apreció una ligera disminución de estos azúcares en correspondencia con la incidencia de las precipitaciones (Figura 1).

La concentración de sacarosa en el jugo (Figura 4b) se incrementó como tendencia en el período evaluado de noviembre a abril, el cual corresponde con la etapa de maduración de acuerdo a las condiciones edafoclimáticas de Cuba. En los meses 10 (enero) y 12 (marzo) se aprecia disminuciones que se alejan de la tendencia general de las variaciones del contenido de sacarosa y que se deben a las precipitaciones ocurridas antes de la toma de las muestras (Figura 1).

En los contenidos de poli+oligo (Figura 4c) se aprecia una disminución en los meses de

enero (10 meses) y marzo (12 meses), similar a la observada, como consecuencia de las precipitaciones ocurridas antes de los muestreos, sin considerar las disminuciones de enero y marzo, la tendencia general es hacia un incremento hasta el mes de febrero (11 meses) y disminuir al final del período evaluado. Rodríguez *et al.* (1979), señalaron que las macromoléculas del jugo se incrementan con la edad, hasta que se alcanza la madurez óptima. Estas disminuyen posteriormente, a causa de que también disminuye la fracción proteica, pero incrementa de modo notable el contenido de polisacáridos solubles, aunque no se manifiesta en todas las variedades.

Para una mejor interpretación de los resultados obtenidos se analizó las relaciones entre sacarosa/poli+oligo (Figura 5a) y sacarosa/azúcares

reductores (Figura 5b). La relación sacarosa/poli+oligo, se incrementó al inicio del período evaluado, entre los meses de noviembre (8 meses) y diciembre (9 meses), disminuyó en el mes de enero (10 meses), donde también se apreció una disminución del contenido de sacarosa, por el efecto de las lluvias anteriores al muestreo. A partir del mes de febrero (11 meses) se observó un aumento de esta relación, en correspondencia con la tendencia al incremento del contenido de sacarosa y la disminución del contenido de polisacáridos en la etapa final del período de maduración del cultivo.

Al analizar la relación sacarosa/azúcares reductores (Figura 5b) se observa, que en el pe-

ríodo de noviembre (8 meses) a abril (13 meses), que es cuando en las condiciones de Cuba se produce la maduración de la caña de azúcar, existe una tendencia al incremento, alcanzándose los mayores valores para todas las variedades al final del período, esto corresponde con todos los indicadores de crecimiento evaluados en cuanto al momento óptimo de maduración. Solo se encuentran fuera de esta tendencia los resultados obtenidos en los meses de enero (10 meses) y marzo (12 meses), cuando la composición del jugo fue afectada por las precipitaciones ocurridas en días anteriores a los muestreos.

En la figura 6 a y b se muestra los resultados de la relación sacarosa/azúcares totales

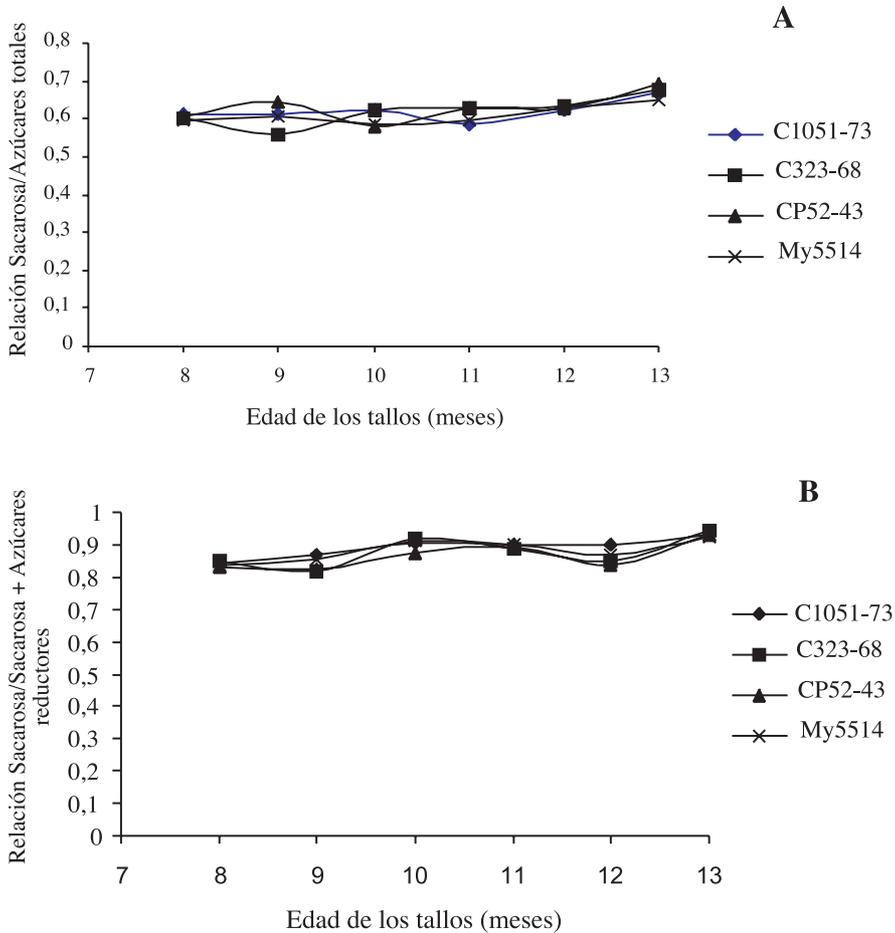


Fig. 6. Relación entre el contenido de sacarosa/azúcares totales (A) y entre sacarosa/sacarosa+azúcares reductores (B) en 4 variedades de caña de azúcar durante el ciclo de crecimiento y desarrollo.

(sacarosa+azúcares reductores+poli+oligo) y sacarosa/sacrosa+azúcares reductores. Para la primera relación se obtuvo incrementos aproximados de 0,05 para las diferentes variedades y al final del período la sacarosa llegó a representar entre el 65-70% del total de los azúcares. En la segunda relación se produjo incrementos próximos a 0,01 y la sacarosa alcanzó valores comprendidos entre el 92-94%. Los discretos incrementos obtenidos en estas relaciones son consecuencia de la tendencia a la estabilización en la composición de los jugos en el período de maduración. Lingle (1999), en un estudio similar realizado en 2 entrenudos seleccionados de 7 clones de caña, donde determinó la dinámica de la relación sacarosa/sacarosa+reductores, también encontró un incremento rápido en la etapa de mayor crecimiento del cultivo y una estabilización en el período de maduración, donde se alcanzó valores próximos a la unidad, comportamiento similar al obtenido en este trabajo.

Se ha utilizado varios procedimientos para caracterizar el grado de madurez de la caña de azúcar tales como: el brix, pol y pureza. Visiva y Kasinath (1935) desarrollaron el método de la determinación del brix de los entrenudos extremos del tallo con el refractómetro de mano y establecieron una relación de cociente entre los mismos. Este método conocido con el nombre de relación tope/base es de gran utilidad en el campo, pues permite seguir el proceso y planificar incluso el corte. No obstante, sus resultados no son precisos.

Determinar la maduración de la caña de azúcar no sólo es importante en la producción, para poder programar la cosecha sino también en la investigación, cuando se pretende, como en este caso, comparar variedades que poseen diferente ciclo de maduración o se estudian variantes que influyen en el proceso de maduración de distintas formas, adelantándolo o retardándolo (Martin *et al.* 1987).

Subirós (1998), al estudiar el comportamiento de 3 variedades de caña respecto a la calidad de los jugos y contenido de fibra en un ciclo de crecimiento, destaca que cuando las variedades alcanzan un máximo en la sacarosa se de-

ben cosechar al inicio de la zafra, ya que la cosecha tardía podría provocar pérdidas debido a la floración o comienzo de un nuevo ciclo vegetativo. Las observaciones de Subirós (1998) se fundamentan en los trabajos de Humbert 1982, Peixoto y Machado 1983, Moore y Nuss 1987, quienes indican que cuando se alcanza el máximo de sacarosa se debe cosechar pues de lo contrario: a) ocasiona la inversión de sacarosa almacenada en el tallo, que es utilizada como fuente de energía para el proceso; b) produce el acorchamiento de los tallos y c) estimula la activación de yemas laterales que implica un gasto de energía adicional.

Al analizar los resultados de este trabajo de forma integral se puede concluir que las variedades alcanzaron el óptimo de maduración a los 13 meses bajo las condiciones experimentales.

## LITERATURA CITADA

- BERNAL N., MORALES F., GALVEZ G., IBIS J. 1997. Variedades de la caña de azúcar. Uso y manejo. INICA. La Habana: 14-26.
- EVENSEN C.I., MUCHOW R.C., EL-SWAIFY A., OSGOOD R.V. 1997. Yield accumulation in irrigated sugarcane. I. Effects of crop age and cultivar. *Agron. J.* 89: 638-646.
- GLASZIOU K.T., GAILER. 1972. Storage of sugar in stalks of sugarcane. *Bot. Rev.* 38(4): 471-490.
- HUMBERT R.P. 1982. El cultivo de la caña de azúcar. México. Editorial Continental. p. 719.
- LINGLE E.S. 1999. Sugar metabolism during growth and development in sugarcane internodes. *Crop Sci.* 39: 480-486.
- MARTIN J.R., GALVEZ G., DE ARMAS R., ESPINOSA R., VIGO A., LEON A. 1987. La Caña de Azúcar en Cuba. Científico-Técnica, La Habana. p. 369-380.
- MOORE P.H., MARETZKI A. 1996. Sugarcane. *In: Photo-assimilate distribution in plants and crops. Source-sink relationships.* Ed. by E. Zamski, A.A. Schaffer. Marcel Deckker. Inc. p. 643-669.
- MOORE P.H., NUSS K.J. 1987. Flowering and flower synchronization. Sugarcane improvement through breeding. Ed. by D.J. Heins. Amsterdam, Holanda. p. 273-311.

- PEIXOTO T.C., MACHADO G.R.J. 1983. Levantamento de florescimento e isoporização de quatro variedades de cana de açúcar nas regioes de Piracicaba, Sertaozinho e Ja. Boletín Técnico, Coopersucar 21: 21-25.
- ROBERTSON M.J., MUCHOW R.C., WOOD A.W. 1996. Growth of sugarcane order high inputs in tropical Australia. I. Radiation use biomass accumulation and partitioning. Field crops Res. 48: 11-25.
- RODES R., ORTEGA E., GALVEZ G. 1996. La caña de azúcar como una fuente renovable de biomasa. I. Almacén del CO<sub>2</sub> atmosférico. Conferencia Mundial sobre la biomasa para la energía, el desarrollo y el medio ambiente. Ciudad de La Habana, Cuba.
- RODRÍGUEZ C.W., VALDES P., MARTINEZ M. 1979. Macromoléculas coloidales en el jugo de la caña de azúcar. Mem. 42 Conf. ATAC 2: 216-228.
- STITT M. 1997. The flux of carbon between the chloroplast and cytoplasm. *In*: Plant Metabolism. Ed. by D.T. Dennis, D.H. Turpi, D.D. Lefebvre y D.B. Layzell. p. 631.
- SUBIRÓS J.F. 1998. Calidad de los jugos y contenido de fibra de tres variedades de caña de azúcar en un ciclo de crecimiento en Guanacaste, Costa Rica. Agronomía Costarricense 22(2): 173-184.
- VISIVA J., KASINATH S. 1935. The top/bottom ratio method for determining the maturity of sugarcane. ISSCT 5:172-189.
- ZHU Y.J., KOMOR E., MOORE P.H. 1997. Sucrose accumulation in the sugarcane stem is regulated by the difference between the activities of soluble acid invertase and sucrose phosphate synthase. Plant Physiology 115: 609-616.