

# Variación del porcentaje del Pol en caña en tres momentos de la cosecha

Irenaldo Delgado-Mora<sup>1\*</sup>, Héctor Jorge-Suárez<sup>2</sup>, Félix R. Díaz-Mujica<sup>1</sup>, José R. Gómez-Pérez<sup>1</sup>, María T. Cornide-Hernández<sup>2</sup>

1. Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar, Villa Clara (INICA-VC)

Autopista Nacional, Km 246, Ranchuelo. Villa Clara, Cuba

2. Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar (INICA)

Carretera a la CUJAE, Km 1½, Boyeros. La Habana, Cuba

\* [ireinaldo.delgado@inicavc.azcuba.cu](mailto:ireinaldo.delgado@inicavc.azcuba.cu)

## RESUMEN

**Introducción.** La literatura científica que aborda la respuesta de cultivares de caña de azúcar, en diferentes periodos de la cosecha es limitada y no está actualizada. De ahí, la importancia de retomar las investigaciones en las condiciones actuales.

**Objetivo.** Determinar la variación del Porcentaje de Pol en Caña durante tres momentos de la cosecha (inicio, medio y final).

**Materiales y métodos.** El estudio se realizó en cuatro estaciones experimentales, pertenecientes al Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar. Se evaluaron 19 cultivares de caña de azúcar, que coincidieron en los sitios de prueba estudiados. Se evaluó la dinámica de madurez en el periodo de noviembre a mayo, así como la variación del rendimiento durante tres momentos de la cosecha, en ambas cepas por separado.

**Resultados y discusión.** El momento inicial de la zafra (noviembre-diciembre-enero) obtuvo mayor variación del Porcentaje de Pol en Caña que los momentos medio y final. La mayor variación correspondió a la localidad de Camagüey, en ambas cepas; y, a Cienfuegos, la menor variabilidad para la selección de cultivares, al inicio de la zafra cubana. El periodo medio (febrero-marzo) ofreció los menores valores de las variaciones estimadas; por otra parte, entre las localidades, correspondió a Cienfuegos la más baja variabilidad.

**Conclusiones.** Las localidades de Cienfuegos y Camagüey presentaron la menor y mayor variabilidad entre los sitios evaluados, respectivamente. El momento inicial de la zafra obtuvo mayor variación del Porcentaje de Pol en Caña, así como el periodo medio fue el más estable.

**Palabras clave.** Dinámica de madurez, periodo de cosecha, selección de cultivares, variabilidad.

## ABSTRACT

**Introduction.** The scientific literature addressing the response of sugarcane crops at different stages of harvest is limited and not up-to-date. That is why, the importance of carrying out investigations under current conditions.

**Objective.** To determine the variation of pol percentage in sugarcane during three harvesting periods (beginning, middle and end).

**Materials and Methods.** The Sugarcane Research Institute (Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar) carried out the study in four experimental stations. The scientists evaluated nineteen sugarcane cultivars that coincided in the test sites studied. They also evaluated the maturity dynamics in the period from November to May, as well as, the variation of yield during three harvesting moments in both cultivars separately.

**Results and discussion.** The initial moment of the harvest (November-December-January) obtained greater variation in the percentage of pol in cane than the middle and final moments. The greatest variation corresponded to the locality of Camagüey in both strains, and Cienfuegos had the least variability for the selection of cultivars at the beginning of the Cuban harvest. The middle period (February-March) offered the lowest values of the estimated variations, and among the localities, Cienfuegos had the lowest variability.

**Conclusions.** Cienfuegos and Camaguey showed the lowest and highest variability among the sites evaluated, respectively. The initial time of the harvest had the greatest variation in the percentage of pol in cane, and the middle period was the most stable.

**Keywords.** Maturity dynamics, harvesting period, cultivar selection, variability.

## INTRODUCCIÓN

La caña de azúcar (*Saccharum spp.*) es un cultivo importante en la economía mundial, como materia prima para la producción de azúcar, alcohol, levadura y otros derivados. Es altamente productivo por poseer un mecanismo fotosintético tipo  $C_4$  (1) y por su potencial para la diversificación (2, 3).

Las tendencias actuales en la agricultura cañera requieren, para su implementación, de que se establezcan las bases para obtener nuevos cultivares de caña de azúcar, adaptados a las variaciones edafoclimáticas asociadas al cambio climático que incidirán, a mediano y largo plazos, en la aparición de nuevas patologías y en el desplazamiento del período de crecimiento y maduración del cultivo. En ese contexto, una de las soluciones más prácticas y económicas se encuentra en la búsqueda de cultivares con resistencia a estreses bióticos y abióticos, mediante el desarrollo de programas de mejoramiento genético (4).

La literatura científica sobre la respuesta de los cultivares en diferentes períodos de cosecha (inicio, medio y final) es limitada y no siempre actualizada (5-7). De ahí la importancia de retomar las investigaciones en las condiciones actuales y recomendar cultivares para las etapas iniciales de zafra.

Por otra parte, no existen antecedentes de ese tipo de estudio, de manera simultánea en cultivares liberados en diferentes períodos de cosecha, por lo que sería útil actualizar el nivel de plasticidad de estos, con vistas a optimizar su manejo; así como continuar la secuencia de análisis, con la determinación de la variación del rendimiento durante el período de zafra, dado el conocimiento empírico existente.

El objetivo del trabajo es determinar la variación del Porcentaje de Pol en Caña (PPC), durante tres momentos de cosecha (inicio, medio y final).

## MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en cuatro estaciones experimentales, pertenecientes al Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar (INICA). Se evaluaron 19 cultivares de caña de azúcar, que coincidieron en los sitios de prueba estudiados, obtenidos por el Programa de Mejoramiento Genético del Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar (8): de ellos, tres comerciales (C86-12, C1051-73, C323-68) y otros 16 liberados a extensión.

Cada unidad experimental se plantó en campo, según un diseño de bloques al azar, con tres réplicas, parcelas unitarias de 48m<sup>2</sup> (cuatro surcos de 7.5 m x 1.6 m de ancho, 12 plantones por surco), de acuerdo con las Normas y Procedimientos del Programa de Mejoramiento Genético de la Caña de Azúcar en Cuba, del INICA (9).

Se inició la determinación de la dinámica de madurez del Porcentaje de Pol en Caña (PPC) en el período comprendido entre los meses de noviembre a mayo. De esta manera, se conformó con el

total de tallos presentes en un metro lineal, de cinco cultivares (C1051-73, C86-12, C86-156, C90-469 y C323-68) de los 19 estudiados, de acuerdo con su representatividad en áreas comerciales.

Los datos correspondientes a las cepas de planta y retoño fueron analizados por separado en cada mes; aunque, como expresión práctica para este análisis, se presentaron las curvas de madurez de ambas cepas juntas, por cultivar, en cada localidad (10-12).

Posteriormente, se continuó la secuencia de análisis con la determinación de la variación del rendimiento, durante tres momentos evaluativos (MEval) de la cosecha: inicio, (MEval 1, MEval 2 y MEval 3 [noviembre, diciembre y enero]); medio (MEval 4 y MEval 5 [febrero y marzo]); y, final, (MEval 6 y MEval 7 [abril y mayo]), en ambas cepas por separado, según Jorge *et al.* (5). Se utilizó para ello, el incremento de las varianzas entre los grupos formados dentro y entre localidades.

El PPC como estimador del potencial azucarero de los tallos, depende del contenido de fibra (f) y del porcentaje de Pol en el jugo extraído, que se definió como Porcentaje de Pol en caña = f \* Pol en jugo (13).

A las variables climáticas que correspondieron con cada agrupamiento y localidad se les realizó la evaluación estadística, mediante el Modelo de Estimación de Máxima Verosimilitud, Modelo Lineal Generalizado Mixto (GLMM), corrido mediante el paquete SAS versión 9.3 (14).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La figura 1 muestra la representación gráfica de las curvas de madurez de cinco cultivares de caña de azúcar en las localidades en estudio, en ella se observan las diferencias de la variable respuesta, a inicio y final de zafra (noviembre-diciembre y abril-mayo), respectivamente. El modelo binomial alcanzó valores de ajustes del coeficiente de determinación ( $R^2$ ), entre 0.77 y 0.99, en los sitios de prueba.

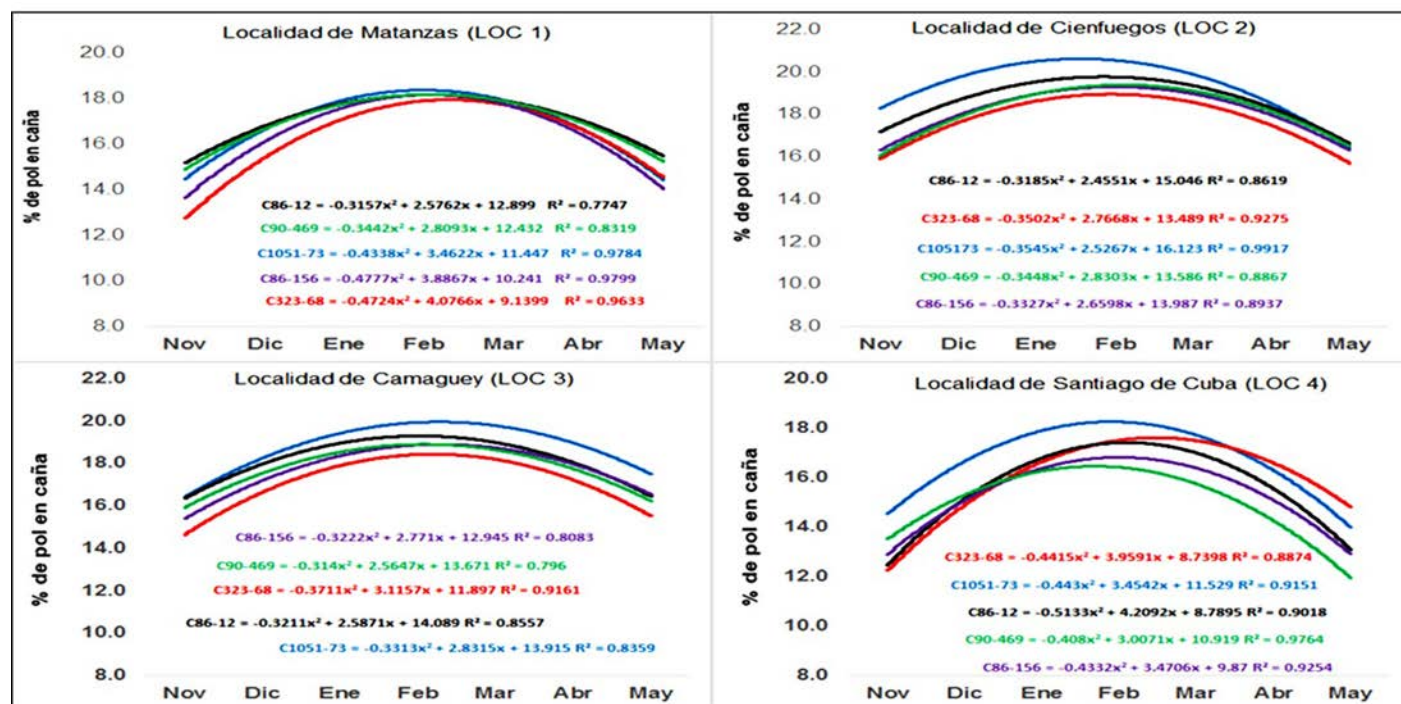
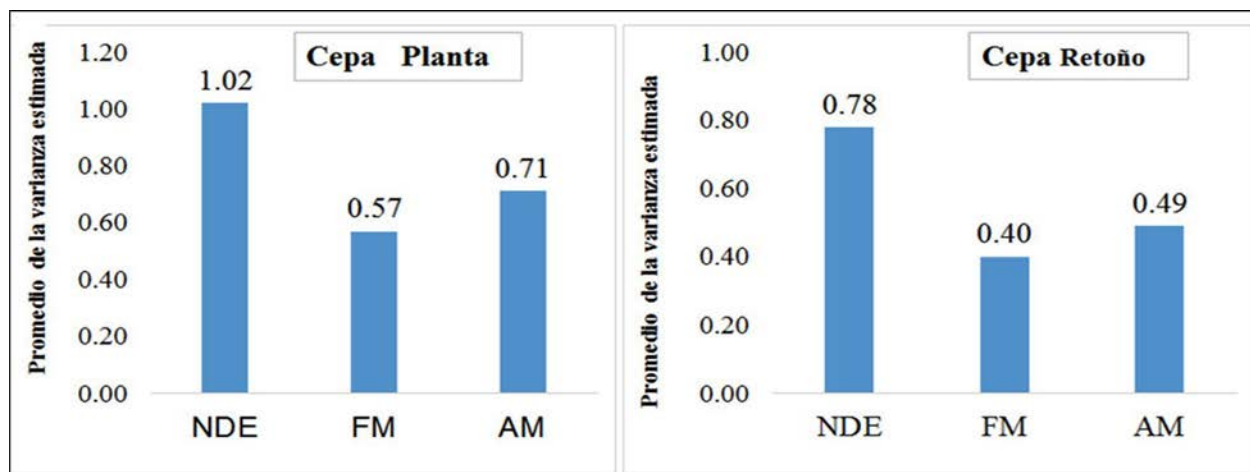


Figura 1. Representación gráfica de las curvas de madurez de cinco cultivares de caña de azúcar (S. spp) en ambas cepas, de las cuatro localidades en estudio: Matanzas (LOC 1); Cienfuegos (LOC 2); Camaguey (LOC 3); Santiago de Cuba (LOC 4).

Es importante destacar que, a pesar de cambiar los valores de los cultivares por localidad, la tendencia es la misma, en general. El cultivar C323-68, con características de maduración tardía, confirmó los valores inferiores en la etapa inicial; sin embargo, C1051-73 alcanzó, durante casi todo el período analizado, altos rendimientos azucareros en las cuatro localidades.

Al respecto, Jorge *et al.* (5) y Rodríguez (15) destacaron el comportamiento del PPC en cultivares de caña de azúcar durante el período de zafra (noviembre-abril); los autores señalaron, además, que la mayor diferencia ocurría a inicios de zafra (noviembre-diciembre), dado que en esta etapa existía mayor variabilidad explotable para este carácter y que de mediados a finales de zafra (febrero-abril) esta diferencia era menos marcada.

El promedio de las variaciones estimadas de los 19 cultivares, por los momentos de cosecha en cada cepa, se muestran en la figura 2. Los períodos de noviembre-diciembre-enero (NDE), febrero-marzo (FM) y abril-mayo (AM), mostraron diferencias entre ellos. El momento inicial (NDE) obtuvo, en ambas cepas, un incremento del 79.0 y 95.0 %, con respecto al momento medio (FM); así como 44.0 y 59.0 % con el final (AM), respectivamente.



**Figura 2.** Comparación del promedio de las varianzas estimadas de los momentos de cosecha (NDE-FM-AM), en ambas cepas de caña de azúcar (*S. spp.*). NDE: períodos de noviembre-diciembre-enero; FM: períodos de febrero-marzo; AM: períodos de abril-mayo.

Los resultados señalados anteriormente fueron de vital importancia para la evaluación de la etapa inicial (NDE), dada la mayor variabilidad existente y las potencialidades para la selección temprana de los cultivares. Sin embargo, el período febrero-marzo (FM) ofreció los menores valores de las variaciones estimadas; es decir, mayor estabilidad de los cultivares en esta etapa.

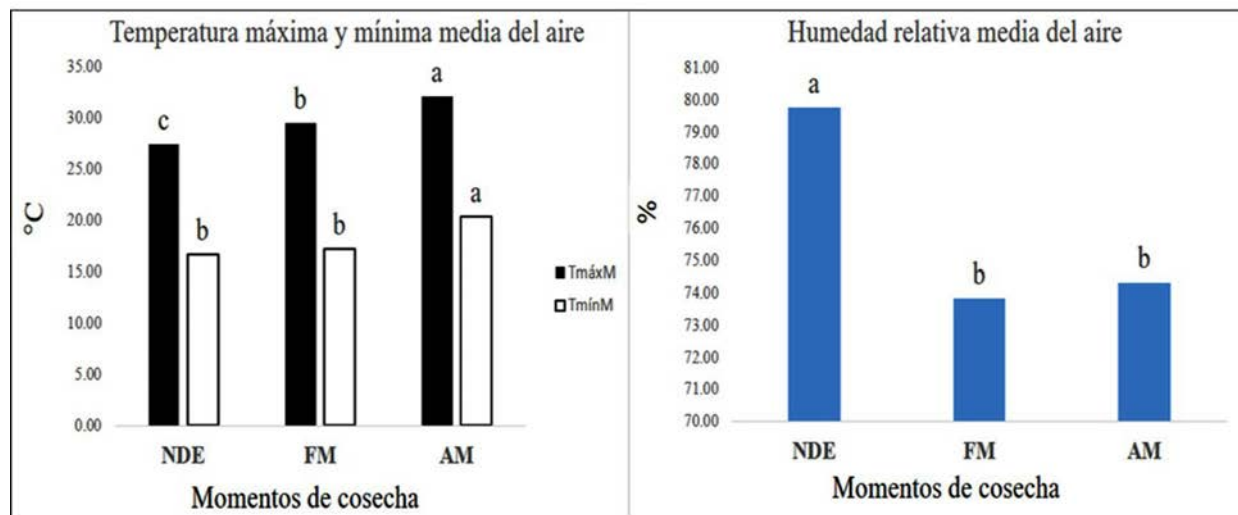
Dillewijn (16) expresó que existían cultivares de maduración temprana y maduración tardía, con muchas formas intermedias. Señaló además, que las características estaban estrechamente relacionadas con la duración del período de crecimiento, por lo que los cultivares de período de crecimiento corto, por lo general, maduraban antes y viceversa.

Los resultados obtenidos pudieron estar influidos por el comportamiento de las variables climáticas del período, las cuales mostraron diferencias estadísticas significativas en los momentos de cosecha (tabla 1). El período NDE mostró menores valores de temperatura del aire tanto máxima como mínima, así como una alta humedad relativa, como se muestra en la figura 3.

**Tabla 1.** Prueba de efectos fijos Tipo III de variables climáticas por momentos de cosecha en ambas cepas de caña de azúcar (*S. spp.*)

Efecto	GL	TmínM		TmáxM		Hrmed	
		F-Valor	Pr > F	F-Valor	Pr > F	F-Valor	Pr > F
<b>Momentos de cosecha</b>	2	18.11	<.0001	11.57	<.0001	11.36	<.0001

GL: grados de libertad; F-Valor: valor F; Pr > F: significación estadística; TmínM: temperatura mínima media del aire; TmáxM: temperatura máxima media del aire; Hrmed: humedad relativa media del aire; Momentos de cosecha: NDE-FM-AM (NDE: períodos de noviembre-diciembre-enero; FM: períodos de febrero-marzo; AM: períodos de abril-mayo).



**Figura 3.** Representación gráfica de variables climáticas por momentos de cosecha, en ambas cepas de caña de azúcar (*S. spp.*).

TmínM: temperatura mínima-media del aire; TmáxM: temperatura máxima-media del aire; Hrmed: humedad relativa-media del aire; Momentos de cosecha: NDE: período de noviembre-diciembre-enero; FM: período de febrero-marzo; AM: período de abril-mayo; Barras con letras no comunes difieren significativamente para  $p < 0.05$ .

La mayor diferencia entre las temperaturas máximas y mínimas, sin embargo, correspondió al momento de FM (febrero-marzo), que es una etapa con bajos valores de humedad relativa media del aire y estos aspectos inciden sobre la maduración de los cultivares. Por ello, en esta etapa existió mayor estabilidad en el rendimiento azucarero. No obstante, el momento NDE, a pesar de presentar menores temperaturas (mínimas y máximas), no alcanzó una diferencia entre ellas superior a los 10 °C, valor óptimo para alcanzar la maduración de la caña de azúcar.

Sobre el tema, Glasziou *et al.* (17) informaron que, al reducir la temperatura media del aire durante un período largo de tiempo (de tres a seis meses), se produjeron niveles relativamente altos de sacarosa (17.0 % del peso fresco). Asimismo, Scarpari y Beauclair (18), coincidieron en el efecto positivo en la concentración de sacarosa, al disminuir la temperatura del aire.

Según señalaron Terauchi *et al.* (19), las bajas temperatura del aire redujeron la actividad de las invertasas ácidas en los tallos, las cuales propician un incremento en la actividad de la sacarosa fosfato sintetasa y la invertasa neutra, con un consecuente aumento en los contenidos de sacarosa en los tallos. Mientras, Lingle (20) observó una disminución en las cantidades de invertasas ácidas, cuando las temperaturas bajas se mantuvieron durante un tiempo prolongado.

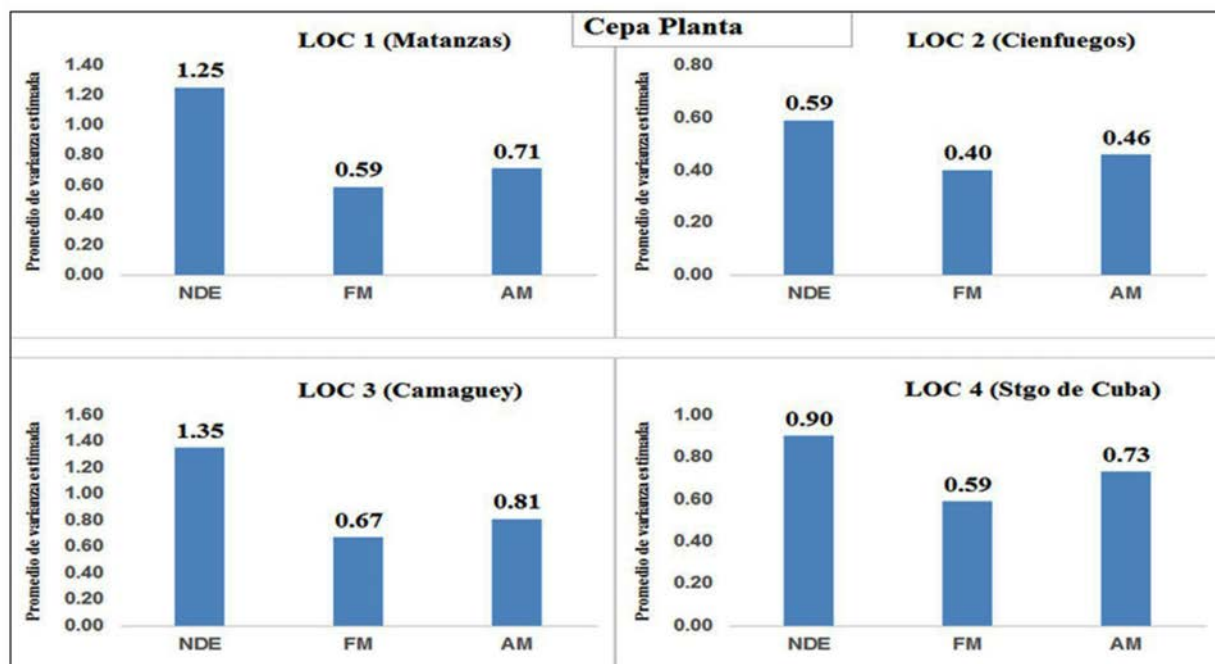
Los resultados de las varianzas estimadas, por momentos de cosecha, en cada localidad y por cepa se muestran en las figuras 4 y 5. El período inicial (NDE) obtuvo mayor variabilidad que los restantes, así como mayor estabilidad en la etapa intermedia (FM). Estos aspectos fueron similares

a los obtenidos por el promedio de las localidades, en las dos cepas, como se aprecia en la anteriormente mostrada figura 2.

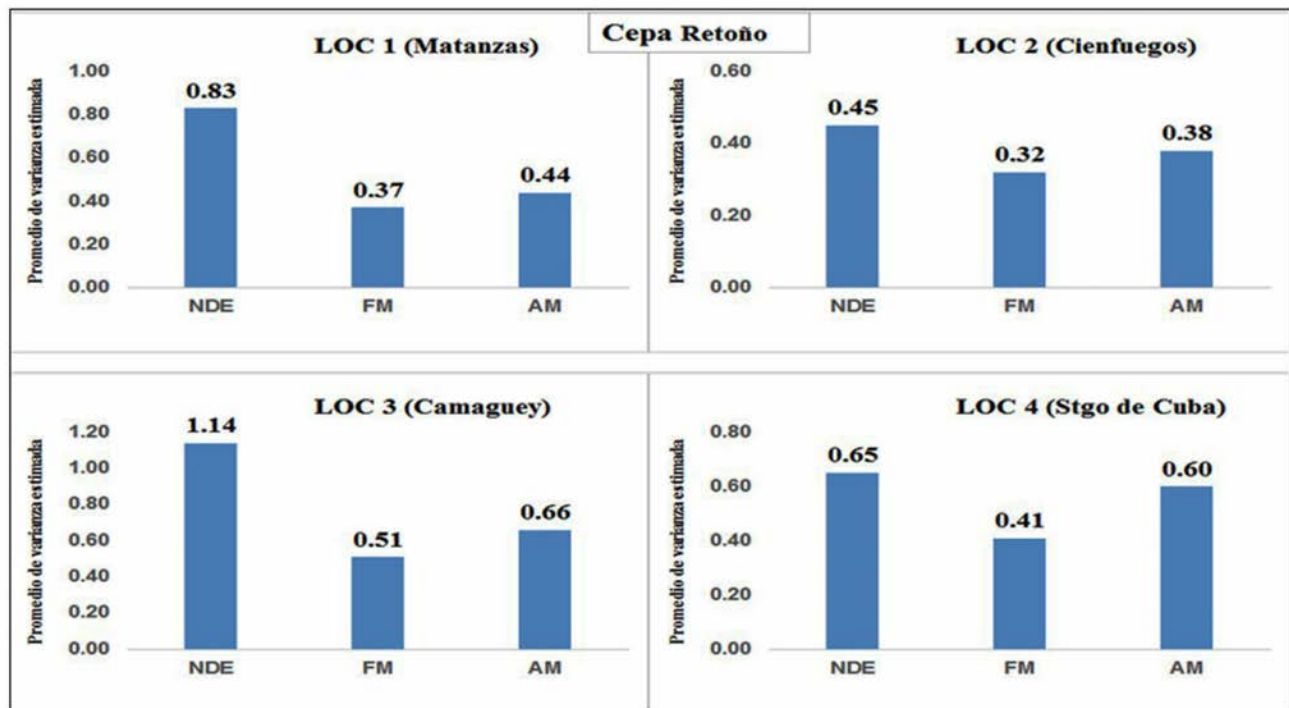
En el momento inicial (NDE), la localidad de Camagüey (LOC 3) obtuvo, en ambas cepas, un incremento superior a las demás. Sin embargo, esta diferencia fue más marcada en la localidad de Cienfuegos (LOC 2), la que evidenció baja variabilidad para esta etapa; es decir, menor variabilidad para la selección de cultivares, al inicio de la zafra cubana, aspecto que reafirmó el criterio sobre el comienzo de la maduración en el país en esta etapa, en la que el comportamiento varietal es más estable.

Al respecto, González *et al.* (21) expresaron que la disminución de la variabilidad en el Brix, con el progreso de la maduración, puede dificultar la selección de los genotipos superiores; señalaron, además, que para lograr una mayor seguridad en la selección de individuos con elevado potencial azucarero, sería más efectivo desarrollar una selección temprana.

Los resultados anteriormente presentados coincidieron con Bernal (22), quien señaló que en la etapa intermedia de madurez existía una menor variabilidad entre los genotipos para este carácter. Asimismo, informó que el agrupamiento entre un gran número de genotipos puede estar dado porque, en este período de zafra, los cultivares alcanzan su mayor concentración de sacarosa, de ahí su posible similitud.



**Figura 4.** Comparación del promedio de las varianzas estimadas de los momentos de cosecha (NDE-FM-AM) por localidad, en la cepa de planta de la caña de azúcar (*S. spp.*). NDE: período de noviembre-diciembre-enero; FM: período de febrero-marzo; AM: período de abril-mayo.



**Figura 5.** Comparación del promedio de las varianzas estimadas de los momentos de cosecha (NDE-FM-AM) por localidad, en la cepa de retoño de la caña de azúcar (*S. spp.*). NDE: período de noviembre-diciembre-enero; FM: período de febrero-marzo; AM: período de abril-mayo.

Al respecto, González (23) informó que, a medida que avanza el proceso de maduración se advierte una disminución de la variabilidad y la heredabilidad del contenido azucarero. De esta manera, la selección de los mejores individuos se haría con mayor seguridad en época temprana para obtener una ganancia genética superior.

## CONCLUSIONES

1. Las localidades de Cienfuegos y Camagüey presentaron la menor y mayor variabilidad entre los sitios evaluados, respectivamente.
2. El momento inicial de la zafra obtuvo mayor variación del porcentaje de Pol en caña, así como el período medio fue el más estable.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Hatch, MD; Slack, CR. 1966. Photosynthesis by sugar-cane leaves. A new carboxylation reaction and the pathway of sugar formation. *Biochem. J*, 101: 103-111.
2. Pereira, F.M.; *et al.* 2017. Sugars levels of four sugarcane genotypes in different stem portions during the maturation phase. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 89(2): 1231-1242.
3. Delgado, I. 2022. Perfeccionamiento de la recomendación de cultivares de caña de azúcar (*Saccharum spp.*) del programa de mejoramiento genético, según el período y momento óptimo de maduración. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. (Tesis Doctoral). 98 p.
4. Rodríguez, R. 2012. Perfeccionamiento del programa de mejora genética de la caña de azúcar (*Saccharum spp.*) para la obtención de nuevos genotipos tolerantes al estrés por déficit

- hídrico. Tesis presentada en opción al grado científico de Dr. en Ciencias Agrícolas. INICA, La Habana, Cuba, 100 p.
5. Jorge, H.; *et al.* 2014. Caracterización de las familias de variedades acorde con los momentos de cosecha en dos localidades de la región central de Cuba. *Centro Agrícola*, 41(2): 71-77.
  6. Rodríguez, R.; *et al.* 2015. Estudio del rendimiento y modelación del período de madurez en nuevos cultivares de caña de azúcar. *Cultivos Tropicales*, 36(4): 134-143.
  7. González, R.M. 2019. Variedades de caña de azúcar cultivadas en Cuba. Cronología, legislación, metodologías y conceptos relacionados. Editorial ICIDCA, La Habana, Cuba. Primera edición, 216p.
  8. INICA. 2019. XXV Reunión Nacional de Variedades, Semillas y Sanidad Vegetal. Marzo de 2019, 83p.
  9. Jorge, H.; *et al.* 2011. Normas y Procedimientos del Programa de Mejoramiento Genético de la Caña de Azúcar en Cuba. La Habana, Cuba, Publicina. 308 p.
  10. Digonzelli, P.A.; Romero, E.R.; Scandalariis, J. 2015. Guía Técnica del Cañero. Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres. Tucumán. Argentina, 229p.
  11. Daros, E.; de Oliveira, R.A.; de Souza Barbosa, G.V. 2015. 45 años de variedades RB de caña de azúcar. 25 años de Ridesa. 1 ed. Curitiba: Graciosa, 156p.
  12. Jorge, H.; *et al.* 2017. Potencial azucarero de un grupo de cultivares de caña de azúcar en Cuba. ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar. Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar. Ciudad de La Habana, Cuba, 51(2): 3-9.
  13. MACU (Manual de métodos analíticos para el control unificado). 2006. Azúcar crudo y Azúcar refino, Instituto Cubano de Investigaciones Azucareras, Sala Nacional de Control y Análisis, Ministerio del azúcar, 9p.
  14. SAS Institute Inc. 2012. SAS/IML 9.3 User's Guide. SAS Institute Inc., Cary, NC. URL <http://www.sas.com/>.
  15. Rodríguez, S. 2018. Respuesta de cultivares de caña de azúcar (*Saccharum spp.*) en diferentes períodos de evaluación en la provincia de Cienfuegos. Trabajo de Diploma en Opción al Título de Ingeniera Agrónoma. Universidad Fructuoso Rodríguez. Cienfuegos, 54p.
  16. Dillewijn, V. 1975. Botánica de la Caña de Azúcar. Edición revolucionaria. La Habana, Inst. del libro, 139p.
  17. Glasziou, K.T.; *et al.* 1965. Physiology of sugarcane: VII. Effects of temperature, photoperiod duration, and diurnal and seasonal temperature changes on growth and ripening. *Australian Journal of Biological Sciences*. 18: 53-66.
  18. Scarpari, M.S.; Beauclair, E.G. 2004. Sugarcane maturity estimation through edaphic-climatic parameters. *Scientia Agricola*, 61(5): 486-491.
  19. Terauchi, T.; *et al.* 2000. Activity of sucrose phosphate synthase in relation to sucrose concentration in sugarcane internodes. *Japan Journal Tropical Agriculture*, 44: 141-151.
  20. Lingle, S. 2004. Effect of transient temperature change on sucrose metabolism in sugarcane internodes. *Journal American Society of Sugarcane Technologists*, 24: 132-141.
  21. González, A.N.; *et al.* 2019. Nuevos cultivares de caña de azúcar para iniciar zafra en el ingenio Ofelina de Panamá. *Bioteconología Vegetal*, 19(3): 179-191.
  22. Bernal, N. 1986. Clasificación de ambientes en las provincias de Holguín, Las Tunas y Granma en los estudios de regionalización de variedades de caña de azúcar. Tesis para optar por el grado científico de Dr. en Ciencias Agrícolas. INICA, MINAZ, 106p.
  23. González, R.M. 1997. Establecimiento de las bases para el mejoramiento y la obtención de variedades de caña de azúcar (*Saccharum Spp.*) de alto contenido azucarero y madurez temprana. Tesis presentada en opción al Grado Científico de Doctor en Ciencias Agrícolas. Universidad Agraria de La Habana, 107p.