

Los momentos de cosecha en la caña de azúcar y la estabilidad en cinco ambientes de Cuba

Harvest time in sugar cane and varietal stability in five environmental conditions of Cuba

Irenaldo Delgado¹, Héctor Jorge², Antonio Vera³, Arian Céspedes⁴, Isabel Torres⁵, Rubisel Cruz⁴, Yoandri Vaillan⁴, Yaquelín Puchades⁶, Reynaldo Rodríguez⁶, Juan C. Pérez⁷, José C. Santos⁷, Sergio Guillén⁷, Héctor García¹, Félix R. Díaz¹, Harol González¹, José Ramón Gómez¹, Susana Reyes¹, Aylín Gallardo¹, Javier Barroso¹, Luis F. Machado¹ y Dunia Nuñez¹

¹Estación Territorial de Investigaciones de la Caña de Azúcar (ETICA) Villa Clara. Autopista Nacional Km. 246, Ranchuelo, Villa Clara, C.P. 53100

²Instituto Nacional de Investigaciones de la Caña de Azúcar (INICA). Carretera CAI «Martínez Prieto», km 2½ Rancho Boyeros, La Habana, Cuba, C.P. 19390.

³Centro Nacional de Hibridación Sancti Spiritus. Carretera a Tres Palmas Km 1.5, Guayos, **Cabaiguán**, Sancti Spiritus, Cuba, C.P. 62410.

⁴Estación Provincial de Investigaciones de la Caña de Azúcar (EPICA Holguín). Guaro, Mayarí, Holguín, Cuba, C.P. 83000.

⁵Estación Territorial de Investigaciones de la Caña de Azúcar Centro-Oriental. Camagüey. Circunvalación Agramonte. Tráfico. Florida. Camagüey, Cuba, C.P. 72810.

⁶Estación Territorial de Investigaciones de la Caña de Azúcar Oriente-Sur. Carretera Central Km 2½, Los Coquitos, Palma Soriano, Santiago de Cuba, Cuba, C.P. 92610.

⁷Grupo Azucarero AZCUBA. Calle 23 no. 171 entre N y O, Vedado, Plaza de la Revolución, La Habana, Cuba, C.P. 10400.

E-mail: irenaldo@inicavc.azcuba.cu

RESUMEN. La cosecha de la caña de azúcar realizada en el tiempo adecuado, mediante el empleo de una técnica apropiada, es necesaria para una mejor utilización del material genético disponible. Al ubicar cada variedad en la época en que mejor puede manifestar su potencial, tanto de producción como de calidad azucarera, se alcanzan mayores niveles de rentabilidad del cultivo. El objetivo del presente trabajo, es identificar los momentos de cosecha de la caña de azúcar en cinco localidades del país, así como la estabilidad de los cultivares estudiados en cada uno de ellos. Los estudios se desarrollaron en las Estaciones Provinciales de Investigaciones de Villa Clara, Sancti Spiritus, Camagüey, Holguín y Santiago de Cuba. Fueron plantados cinco experimentos (uno por cada localidad), en bloques completamente al azar con tres repeticiones, en secano. Se establecieron dos grandes momentos de cosecha, momento 1 (M1) con los resultados de cosecha en los meses de noviembre hasta enero (inicio de zafra) y momento 2 (M2), con los datos obtenidos desde febrero hasta abril (etapa media-final de zafra). Los resultados del Análisis Discriminante permitieron agrupar dos grandes momentos de cosecha para el período de zafra (noviembre-enero y febrero-abril) en las cinco localidades, con porcentajes de buena clasificación superior al 74%. Además, se sugiere la posibilidad de utilizar para M1 a los cultivares C86-12 y C92-514, mientras que para M2, los cultivares C92-514 y C89-165.

Palabras clave: ambientes, estabilidad, momentos de cosecha.

ABSTRACT. Harvesting of sugarcane at a proper time, by adopting right techniques, is necessary to make better use of the available genetic material. By determining the harvesting time period for each sugarcane variety to show its highest potential, both yield and sugar quality, higher levels of profitability are achieved. The aim of this study is to identify the harvest time of sugarcane cultivars, as well as the stability of the cultivars studied in five localities. The study was conducted at the Sugarcane Research Stations in Villa Clara, Sancti Spiritus, Camagüey, Holguin and Santiago de Cuba. Five experiments were planted (one for each locality), in a randomized complete block design with three replications under rainfed agriculture. Two harvest times were established, time 1 (M1), according to the harvest data from November to January (beginning of harvest), and time 2 (M2) taking into account the data collected from February to April (average stage- end of harvest). The discriminant analysis results allowed establishing two harvest times (November to January and February to April) in these five localities, where the effectiveness of each cultivar-locality-harvest time combination was higher than 74%. In general, it is advisable the use of cultivars C86-12 and C92-514 during M1 in these five localities, as well as the use of C90-530 in specific zones; and the use of cultivars C92-514 and C89-165 during M2.

Key words: environments, stability, time of harvest.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años como consecuencia del calentamiento global se han evidenciado cambios climáticos que han conllevado a una marcada diferencia de la respuesta de los cultivares a las patologías en los distintos suelos y cepas, así como en las diferentes etapas de zafra; debido a ello se han tratado de agrupar las variedades por familia, con el propósito de lograr enmarcar la zafra de forma más eficiente. No obstante, existen pocos reportes relacionados con el tema (López, 1986; Delgado, 2008 y Delgado *et al.*, 2012).

La cosecha de la caña de azúcar realizada en el tiempo adecuado, o sea, en la fase de máxima maduración, mediante el empleo de una técnica adecuada, permite ubicar cada variedad en la época en que mejor pueda manifestar su potencial (tanto de producción como de calidad azucarera) y de esa forma alcanzar mayores niveles de rentabilidad. Por esto, el objetivo del presente trabajo fue identificar los momentos de cosecha de la caña de azúcar en cinco localidades del país, así como la estabilidad de los cultivares estudiados en cada uno de ellos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los ensayos se desarrollaron en el período septiembre-octubre (secano), sobre suelos pardo sin carbonato (Cambisoles pertenecientes a la Estación Provincial de Investigaciones de Villa Clara, Bloque Experimental Espartaco, provincia Cienfuegos), pardo con carbonato plastogénico (Cambisoles eútricos, en Sancti Spiritus, Camagüey y Santiago de Cuba), y oscuro plástico (Vertisoles, ubicados en Holguín) según Hernández *et al.* (1975) y Hernández *et al.* (1999). Se evaluaron 17 cultivares (Tabla 1) que fueron plantados cinco experimentos (uno por cada localidad) en bloques completamente al azar con tres repeticiones. El área de las parcelas fue de 48 m² (7,5 m de largo por 1,6 m de ancho) con cuatro surcos de ancho (Pérez y Milanés, 1979).

Los experimentos fueron cosechados entre noviembre de 2010 a mayo de 2011. Las variables evaluadas en las cepas de caña planta (con edades entre 13 - 19 meses) fueron porcentaje de pol (% pol en caña), toneladas de caña por hectárea (t caña/

Tabla 1. Relación de los cultivares estudiados

Nº	Cultivares	Nº	Cultivares
1	C323-68	10	C89-161
2	C86-12	11	C89-250
3	C86-156	12	C90-317
4	C86-165	13	C90-530
5	C86-56	14	C91-356
6	C87-252	15	C91-367
7	C88-297	16	C92-514
8	C88-380	17	Sp70-1284
9	C89-148		

ha) y toneladas de pol por hectárea (t pol/ha), según la metodología establecida por el INICA (Jorge *et al.*, 2011).

Dos momentos de cosecha se analizaron, el momento 1 (M1) con los resultados de las cosechas de los meses comprendidos entre noviembre a enero (inicio de zafra); y el momento 2 (M2) con los datos obtenidos a partir de febrero hasta abril (etapa media-final de zafra). Para definir estos momentos de cosecha, se realizó un Análisis Factorial Discriminante con las tres variables de rendimiento anteriormente mencionadas.

Con los efectos de la IGA (Interacción Genotipo*Ambiente) se realizaron los análisis estadísticos multivariados y de estabilidad fenotípica, los que son descritos a continuación.

Los modelos AMMI combinan los análisis de varianza para los efectos principales aditivos y la descomposición en valores y vectores singulares (DVS), para los parámetros multiplicativos. En este contexto se considera la IGA un diseño bifactorial de genotipos y ambientes (Gauch, 2006). Este modelo AMMI se llamará a la expresión:

$$AMMI_M : E_{(Y_{ij})} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \sum_{m=1}^M \lambda_m u_{m_i} v_{m_j} + e_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} : observación correspondiente a la combinación de niveles ij

μ : media general

- $\hat{\alpha}_i$: efecto del de genotipo i
- $\hat{\alpha}_j$: efecto del ambiente j
- $\hat{\alpha}_i, \hat{\alpha}_j$: efectos principales de los genotipos y ambientes respectivamente
- $\hat{\epsilon}_m$: corresponde al valor singular de orden m
- u_{mi} : coordenada i-ésima del vector singular asociado a $\hat{\epsilon}_m$
- v_{mj} : coordenada j-ésima del vector singular asociado a $\hat{\epsilon}_m$
- e_{ij} : residuo

A partir de este modelo se construyó el *biplot* AMMI 1 que representa en un eje los efectos aditivos (media general, de genotipos y ambientes), y en otro los valores de los “marcadores” de genotipos y ambientes de la componente 1 (CP1).

La evaluación estadística de los resultados se realizó utilizando los paquetes estadísticos STATISTICA 6.0 y STATGRAPHICS.PLUS versión 5.0 para Windows y sus programa ANOVA con arreglo matemático bifactorial para cada momento de cosecha, en la cepa evaluada. Fueron consideradas como causa de variación las variedades, las localidades y la interacción entre estos dos factores.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de varianza bifactorial (variedad por localidad) para M1 y M2 mostró diferencias significativas en las tres variables evaluadas (tablas 2 y 3). Este resultado

coincide con lo expresado en el modelo AMMI sobre los dos grandes momentos de cosecha, dada la variabilidad existente en estos ambientes.

Los resultados del análisis discriminante para definir los dos períodos de cosecha (tabla 4), acreditados por la significación de las dos funciones discriminantes, son superiores al 74% de buena clasificación (aceptable). Jorge *et al.* (2010) señalaron que en el cultivo de la caña de azúcar existen tres etapas bien definidas durante la zafra (inicial, intermedia y final). Sin embargo, las variables que definen el modelo son el Porcentaje de pol en caña y las Toneladas de caña por hectárea (tabla 5).

Delgado *et al.* (2012) realizaron procedimientos similares para establecer los momentos de cosecha con tres cultivares de caña de azúcar evaluados durante todo el año; sin embargo, este nuevo agrupamiento sugiere una concepción diferente en el manejo de las variedades durante el período azucarero para las localidades.

Resultados en el Momento 1

El modelo AMMI en la variable toneladas de caña por hectáreas, extrae el 74,6% de la varianza contenida en el efecto de los genotipos más la IGA de las dos componentes. Al conformar el tipo de

Tabla 2. Análisis de Varianza bifactorial en M1

Causa de Variación	Toneladas de pol por hectárea (t pol/ha)			Porcentaje de pol (% pol en caña)			Toneladas de caña por hectárea (t caña/ha)		
	MS	F	p	MS	F	p	MS	F	p
V	37,31	8,34	0,000	6,14	8,27	0,000	1390	18,32	0,00
L	599,26	134,04	0,000	153,59	206,89	0,000	14928	196,71	0,00
V*L	22,30	4,99	0,000	2,67	3,59	0,000	1019	13,43	0,00
Error	4,47			0,74			76		

Tabla 3. Análisis de Varianza bifactorial en M2

Causa de Variación	Toneladas de pol por hectárea (t pol/ha)			Porcentaje de pol (% pol en caña)			Toneladas de caña por hectárea (t caña/ha)		
	MS	F	p	MS	F	p	MS	F	p
V	44,40	6,43	0,000	2,35	5,3	0,000	1659	11,07	0,00
L	94,94	13,76	0,000	169,05	377,8	0,000	7434	49,61	0,00
V*L	24,95	3,62	0,000	1,83	4,1	0,000	832	5,55	0,00
Error	6,90			0,45			150		

Tabla 4. Resultados del Análisis Discriminante en dos momentos de cosecha

Función	Valor Eje	Correl. Canón.	Wilks Lambda	X ²	G.L	Prob.
1	0,57	0,6	0,63	75,9	3	0,00
Grupos		% Buena Clasificación		G1	G2	
M1 (nov- enero)		70,59		60	25	
M2 (febrero – abril)		77,65		19	66	
Total		74,12		79	91	

Tabla 5. Variables que caracterizan el agrupamiento

	Wilks' Lambda	Partial	F-remove	p-level	Toler.	1-Toler.
PPC	0,9560	0,6629	84,9100	0,0000	0,9781	0,0219
TCHA	0,6778	0,9351	11,5905	0,0008	0,9781	0,0219

Discriminant Function Analysis Summary (Spreadsheet1) Step 2, N of vars in model: 2;
Grouping: M (2 grps) Wilks' Lambda: 0,6338 approx. F (2,167)=48,247 p< 0,0000

biplot las localidades de prueba quedaron en cinco zonas bien definidas. Los genotipos de mejor comportamiento para cada localidad son aquellos que se encuentran más cercanos a la misma (Yan y Tinker, 2006), en la primera localidad (L1) fue la C323-68; C91-367 y C87-252 fueron en la segunda localidad (L2); C89-250 fue en la tercera (L3); C86-165, C90-317 y C89-161, en la cuarta (L4); mientras que en la quinta (L5) fue C88-297.

El porcentaje de pol en caña presenta un comportamiento similar a las toneladas de caña por hectárea para este momento de cosecha debido a que ofrece el 78,96% de la varianza contenida en el efecto de los genotipos más la IGA de los dos componentes (figura 1). Sin embargo, en este parámetro la estabilidad es diferente para cada localidad, los cultivares C89-161, C92-514, C86-156 y C86-12 son los más estables en estos ambientes. Conjuntamente, los cultivares C323-68, C91-367 y C90-530 presentan buen contenido azucarero, pero no son estables en los ambientes analizados.

El comportamiento medio de los genotipos y su estabilidad (proyección de los mismos sobre la línea discontinua perpendicular al eje), demuestran que los cultivares más estables, de mayor rendimiento agrícola en todas las localidades son C92-514, C86-165, C86-56 y C86-12. Estos son los que más cercanos al eje de coordenadas (Estrada y Martínez, 2003; Yan *et al.*, 2007); no así los

genotipos C323-68, C88-297 y C90-530 que no son estables en los diversos ambientes a pesar del alto rendimiento agrícola obtenido en cada uno, lo que manifiesta la especificidad a cada zona. Estos resultados demuestran la adaptabilidad de los cultivares a los ambientes específicos, lo que coincide con estudios reportados por Rodríguez *et al.* (2010).

Estos resultados sugieren la posibilidad de utilizar para M1 a los cultivares C86-12 y C92-514 en estas localidades, por sus respuestas destacadas integralmente en las dos variables estudiadas; además, C323-68 y C90-530 pueden ser utilizadas en sitios específicos por tener elevados contenidos agrícolas y azucareros.

Resultados en el Momento 2

El modelo AMMI para la variable tonelada de caña por hectárea extrae el 75,03 % de la varianza contenida en el efecto de los genotipos más la IGA de los dos componentes (figura 2). En este caso se observa como la ubicación de las localidades con respecto a M1 son diferentes, lo que se puede atribuir al factor ambiente que incide en los resultados de los genotipos. Los cultivares C86-165, C87-252, C86-156, C89-161, C323-68 y C92-514, presentaron altos rendimientos agrícolas al mismo tiempo que son estables en todas las localidades, para este segundo momento de cosecha.

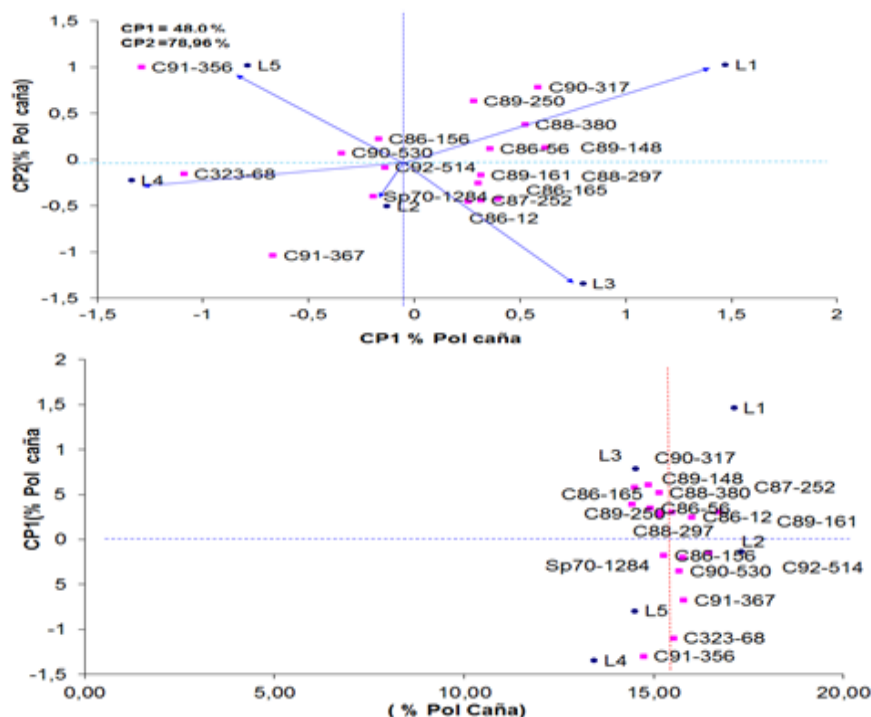


Figura 1. Biplot del comportamiento de los genotipos en M1 para cada ambiente y su estabilidad (t caña/ha)

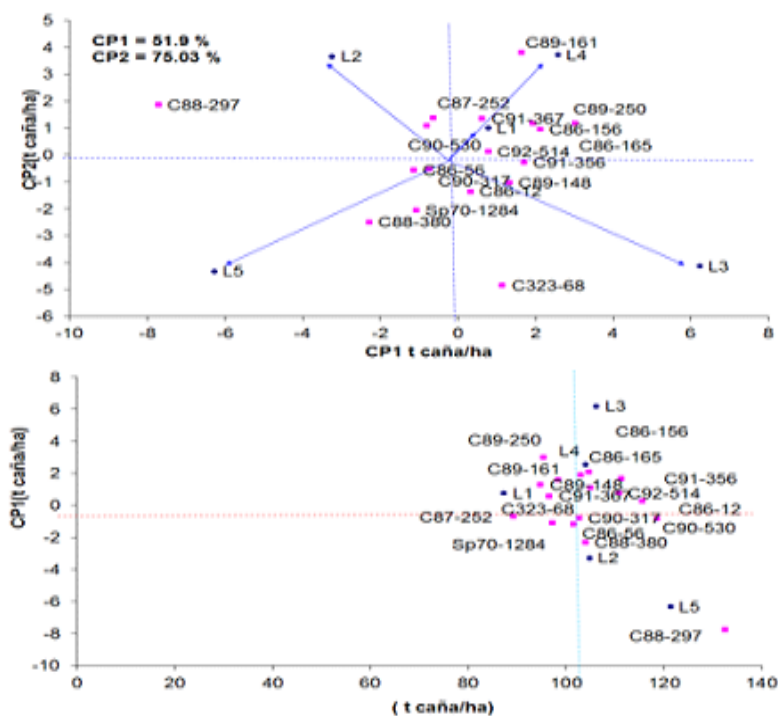


Figura 2. Biplot del comportamiento de los genotipos en M2 para cada ambiente y su estabilidad (t caña/ha)

Al evaluar el porcentaje de pol en caña se apreció que existió menor variabilidad de los genotipos y las localidades para este momento. Los cultivares C92-514, C91-367 y C89-165,

ofrecieron elevados contenidos de pol y buena estabilidad en los ambientes, lo que indica la posibilidad de utilizar a estos para este período de cosecha.

CONCLUSIONES

1. Los resultados del Análisis Discriminante permitieron agrupar dos grandes momentos de cosecha para los períodos de zafra M1 (noviembre-enero) y M2 (febrero-abril) en las cinco localidades evaluadas.
2. Los cultivares C86-12 y C92-514 pueden ser utilizados para el M1; mientras que para M2 deben ser C92-514 y C89-165.
3. El cultivar C92-514 demostró capacidades agrícolas y azucareras para utilizarlo durante todo el período azucarero.

BIBLIOGRAFÍA

1. Delgado, I.; H.J. Suárez; H. García; N. Bernal; F.R. Díaz; A. Bernal; J. R. Gómez; O. Aday; H. González; M. Buedo; S. Reyes; D. Núñez; J. Barroso; L.F. Machado: Potencialidades de familias de variedades para diferentes períodos de zafra en Cuba. *Revista Cultivos Tropicales*, 33 (3):5-14, 2012.
2. Delgado, I.: Manejo Sostenible de Caña de Azúcar en Cuba. Tesis para optar por el título académico de Master en Agricultura Sostenible, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Villa Clara, Cuba, 50p., 2008.
3. Estrada, C.B.; V. Martínez: Estabilidad del rendimiento de grano de híbridos de maíz usando mejores predictores lineales insesgados. *Agrociencia* 37:605-616, 2003.
4. Gauch, H.G.: Statistical Analysis of Yield Trials by AMMI and GGE. *Crop Sci.* 46:1488–1500, 2006.
5. Hernández, A.; J.M. Pérez; D. Bosch; L. Rivero: Nueva Versión de Clasificación Genética de los Suelos de Cuba. *AGRINFOR*, 64 p., 1999.
6. Hernández, A.; J. Pérez; O. Ortega; L. Avila; A. Cárdenas; A. Marrero; N. Companioni: II Clasificación genética de los suelos de Cuba. *Revista Agricultura*. VIII (1):47-69, 1975.
7. Jorge, H.; Ibis Jorge; N. Bernal: Principios y conceptos básicos para el manejo de cultivares y semilla de caña de azúcar en la agroindustria azucarera cubana. *PUBLINICA*, La Habana, Cuba, 2010, 99 p. ISSN 1028-6527.
8. Jorge, H.; R. González; M. Casas; I. Jorge: Normas y Procedimientos del Programa de Mejoramiento Genético de la Caña de Azúcar en Cuba. *PUBLINICA*, La Habana, Cuba, 308 p., 2011.
9. López, E.P.: Influencia de algunos factores del ambiente sobre el rendimiento y aplicación de tres métodos de estabilidad en los estudios de regionalización de variedades de caña de azúcar (*Saccharum spp.*) en las provincias de Camagüey y Ciego de Ávila. Tesis en opción al Grado Científico de Doctor en Ciencias Agrícolas. Universidad Agraria de La Habana, La Habana, Cuba, 198 p., 1986.
10. Pérez, J.L.; N. Milanés: Determinación del área y de la forma de las parcelas experimentales, y del número óptimo de réplicas para los experimentos en caña de azúcar. *Ciencias de la Agricultura*, no. 4, pp. 111-115, 1979.
11. Rodríguez, R.; Yaquelin Puchades; N. Bernal; H. Jorge; H. García: Métodos estadísticos multivariados en el estudio de la interacción genotipo ambiente en caña de azúcar. *Ciencia en su PC*, núm. 1:47-60, 2012.
12. Yan, W.; N.A. Tinker: Biplot analysis of multi-environment trial data: Principles and applications. *Can. J. Plant Sci.* 86:623–645, 2006.
13. Yan, W.; M.S. Kang; B. Ma; S. Woods; P.L. Cornelius: GGE biplot vs. AMMI analysis of genotype-by-environment data. *Crop Sci.* 47:643–655, 2007.

Recibido: 26/03/2014

Aceptado: 17/12/2014