

CONTRIBUCIÓN DE LAS LOCALIDADES DE PRUEBA EN ESTUDIOS MULTIAMBIENTALES DE CAÑA DE AZÚCAR

Location contributions of multienvironment sugarcane trials

Reynaldo Rodríguez Gross[✉], Yaquelin Puchades Izaguirre, Norge Bernal Liranza, Héctor Jorge Suárez, Mónica Tamayo Isaac, Víctor Caraballosa y Ledislina Vázquez López

ABSTRACT. The objective of this study were to assess the locations contributions in the final testing stage for the sugarcane (*Saccharum spp.*) Breeding Program in the south-eastern region of Cuba and to identify valuable locations for testing new genotypes and determine the most productive cultivars at each location. To assess these purpose 15 cultivars, six locations and two crops cycles were evaluated. Data of cane yield ($t\text{ cane}\cdot\text{ha}^{-1}$), pol percentage in cane and $\text{pol}\cdot\text{ha}^{-1}$ were recorded. Results were visualized using Sites Regression model (SREG). Genotype by environment interaction was determined for each location, and variation among environments accounted the major variability for the three evaluated variables. Combining results obtained from GGE model we recommended adding the locations of «Enidio Díaz» and «Dos Ríos» to the «America Libre» existing one in the final testing stage to improve the selection of new cultivars in the south-eastern region of Cuba.

RESUMEN. El trabajo se desarrolló con el objetivo de estimar la contribución de las localidades en un estudio multiambiental de genotipos de caña de azúcar (*Saccharum spp.*), en la última etapa de selección del Programa de Mejora de la región sur oriental de Cuba e identificar las localidades necesarias para conducir estos estudios. Con tal finalidad, se plantaron seis experimentos con 15 cultivares, evaluándose en dos cosechas (caña planta y primer retoño). Fueron evaluadas tres variables de cosecha: rendimiento cañero ($t\text{ caña}\cdot\text{ha}^{-1}$), porcentaje de pol en caña y $\text{pol}\cdot\text{ha}^{-1}$. Para el análisis de los datos se aplicó el modelo de Regresión de Sitios (SREG). Como resultado se determinó la existencia del fenómeno de la interacción genotipo-ambiente en los sitios estudiados y se cuantificó una alta contribución ambiental a la varianza fenotípica total para las tres variables evaluadas. Al combinar los resultados de los *bipLOTS* del modelo de Regresión de Sitios, obtenidos para el rendimiento cañero, el porcentaje de pol en caña y $t\text{ pol}\cdot\text{ha}^{-1}$, se pudo determinar que es insuficiente la localidad «América Libre» como único sitio de prueba de nuevos cultivares de caña de azúcar. Estos resultados justifican que en la etapa final del programa de mejora de la caña de azúcar de la región sur oriental de Cuba se añadan, para estos estudios, las localidades «Enidio Díaz» y «Dos Ríos».

Key words: sugarcane, cultivar, models, genotype-environment interaction

Palabras clave: caña de azúcar, cultivar, modelos, interacción genotipo-ambiente

Reynaldo Rodríguez Gross; M.Sc. Yaquelin Puchades Izaguirre; Víctor Caraballosa y M.Sc. Mónica Tamayo Isaac, Investigadores Agregados; Dr.C. Norge Bernal Liranza, Investigador Auxiliar; Dr.C. Héctor Jorge Suárez, Investigador Titular de la Subdirección de Fitomejoramiento, Departamento de Genética, Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar. Teléfono (07) 2624438; Ledislina Vázquez López, Aspirante Investigador de la Estación Territorial de Investigaciones de la Caña de Azúcar, Oriente Sur, Cuba.

✉ reynaldo@etica.ciges.inf.cu; ypuchades@etica.ciges.inf.cu; norge@inica.minaz.cu; hector@inica.minaz.cu; monica@etica.ciges.inf.cu; hibridacion@inica.minaz.cu; ledislina@etica.ciges.inf.cu

INTRODUCCIÓN

En la región sur oriental de Cuba, la caña de azúcar se cultiva en un área de aproximadamente 100 000 hectáreas. De esta superficie 24,5 % presenta limitaciones fundamentalmente por su excesivo drenaje, donde la acción combinada de los bajos acumulados anuales de lluvias y la escasa retención de humedad del suelo, producen estrés por déficit hídrico.

Desde finales de la década de los 70 del pasado siglo, el clima cubano registra cambios importantes, como son el aumento de la temperatura media del aire en 0,6°C (1). Ante tales limitaciones, una de las soluciones

más prácticas y económicas, lo constituye la obtención de genotipos con cierto grado de tolerancia, mediante el desarrollo de programas de mejoramiento genético. Sin embargo, las difíciles circunstancias enfrentadas por la agroindustria azucarera en Cuba durante los últimos años motivaron un reordenamiento de las investigaciones y los sitios de pruebas de nuevos cultivares, lo que provocó poca correspondencia entre los ambientes de selección genética y los ambientes de destino de los cultivares (2).

Diversos estudios de interacción genotipo-ambiente en cultivares de caña de azúcar, reiteran su importancia y significación, lo que apunta a la necesaria evaluación multiambiental de los nuevos genotipos durante el programa de mejoramiento genético y posterior a su liberación en plantaciones comerciales (3). En la región sur oriental existe un solo sitio de prueba de estudios de nuevos cultivares, el que representa el 32 % de los suelos predominantes. Esta restricción de la red experimental para el estudio de nuevos cultivares, en la etapa final del programa de mejora, conduce necesariamente a una revisión de la misma.

En este sentido, se han desarrollado técnicas estadísticas asistidas por gráficos de doble representación (*biplot*) que permiten visualizar el patrón de comportamiento de los genotipos y estimar su eficiencia y la capacidad de discriminación y representatividad de las localidades de prueba (4). Tal es el caso del *biplot* obtenido del modelo de Regresión de Sitios (5), utilizado para estimar las interacciones genotipo-ambiente en diferentes cultivos (6, 7, 8).

El presente trabajo se desarrolló con el objetivo de estimar la contribución de las localidades en un estudio multiambiental de genotipos de caña de azúcar en la última etapa de selección del programa de mejora de la región sur-oriental de Cuba, y de este modo, identificar las localidades necesarias para conducir los estudios de nuevos cultivares y contribuir a mejorar la eficiencia del programa de selección.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para la realización de este trabajo se utilizaron 15 genotipos seleccionados y recomendados por el Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar de Cuba. Estos genotipos fueron plantados en seis localidades de la región sur oriental de Cuba y evaluados en la cepa de caña planta y primer retoño. Los estudios se desarrollaron en el período comprendido entre septiembre de 2006 y marzo de 2009.

Los experimentos se desarrollaron en condiciones de secano, por lo que estuvieron caracterizados por diferentes condiciones de estrés por déficit hídrico. Las localidades y los tipos de suelos (9), se presentan en la Tabla I. De las seis localidades, «Dos Ríos» se consideró la localidad testigo (áreas del bloque experimental de la Estación Territorial de Investigaciones de la Caña de Azúcar de Santiago de Cuba), por poseer el suelo buenas características físico-químicas y mejor balance hídrico.

Los genotipos utilizados en los experimentos fueron: C86-156, C86-531, C87-632, C88-380, C89-250, C89-559, C90-317, C90-501, C90-530, C90-647, C91-356, CP52-43, C128-83, C86-12 y B7274. Este último cultivar se utilizó como testigo, recomendado para suelos de baja fertilidad y con déficit hídrico. Los experimentos fueron plantados con un diseño de bloques completamente aleatorizados, en parcelas de 48 m² con tres repeticiones. La evaluación fue conducida según las Normas Metodológicas del Departamento de Fitomejoramiento del INICA (10). Las variables de cosecha evaluadas fueron: rendimiento agrícola expresado en t caña.ha⁻¹, porcentaje de pol en caña y t pol.ha⁻¹.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los datos originales fueron comprobados de acuerdo a su normalidad y homogeneidad de varianza, mediante pruebas de Chi cuadrado y Bartlett-Box F. Se realizaron análisis de varianza factorial por cepa (cosechas), para conocer la varianza y la contribución de cada uno de los factores y sus interacciones a la varianza fenotípica total. Asimismo, se realizó un análisis «combinado», es decir considerando un arreglo trifactorial de genotipos, localidades y cepas (todos estos factores se consideraron como efectos aleatorios).

Para cumplimentar los objetivos propuestos en este trabajo se utilizó, para cada variable de cosecha, el *biplot* (11) obtenido por el modelo de Regresión de Sitios (12). Este modelo consiste en descomponer en valores y vectores singulares los efectos de la interacción genotipo-ambiente más los efectos de los genotipos (G) del arreglo factorial. Se utilizó, para todos los *biplots*, la escala simétrica en cada componente, multiplicando los vectores de genotipos y ambientes por la raíz cuadrada de su valor singular (12).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el análisis de varianza combinado, que incluyó las cepas de caña planta y primer retoño, se encontraron diferencias muy significativas en la interacción genotipo x localidad x cepa (GLC), para las tres variables de cosecha evaluadas (t caña.ha⁻¹, porcentaje de pol en caña y t pol.ha⁻¹) (Tabla II). Al realizar el análisis individual por cosecha se encontraron igualmente diferencias muy significativas en la interacción genotipo x localidad (GL) para las tres variables analizadas tanto en caña planta como en primer retoño. Estos resultados demuestran que existen diferencias en las localidades y cepas que provocan interacciones con los genotipos.

Obsérvese que para el rendimiento agrícola (t caña.ha⁻¹), la contribución a la varianza fenotípica total de la interacción GL fue superior en ambas cosechas a la provocada por los genotipos.

Tabla I. Principales características de las localidades estudiadas

Provincia	Localidad	Abreviaturas	Suelos	T (°C)	P (mm)
Santiago de Cuba	Paquito Rosales	PR	Pardo Sialítico	25,5	1212,8
Santiago de Cuba	Julio A. Mella	ME	Ferralítico Amarrillento	25,5	952,0
Santiago de Cuba	América Libre	AL	Pardo Sialítico	25,5	971,0
Santiago de Cuba	Dos Ríos	DR	Pardo Sialítico	25,5	1167,7
Granma	Enidio Diaz	ED	Húmico Rendzina Roja	26,2	911,9
Guantánamo	Manuel Tames	MT	Pardo Sialítico	25,6	1096,5

T- temperatura media; P- precipitaciones media anual

Tabla II. Componentes de varianza de genotipos (G) de caña de azúcar estudiados en seis localidades (L) en las cepas de caña planta (CP) y primer retoño (R1)

Cosecha	F.V	g.l.	t caña.ha ⁻¹		PPC		t pol.ha ⁻¹	
			P	PVF	P	PVF	P	PVF
Todas	G	14	<0,01	1,6	<0,01	15,7	<0,01	3,8
Todas	L	5	<0,01	46,8	<0,01	0,0	<0,01	43,6
Todas	C	1	<0,01	24,5	<0,01	11,2	<0,01	14,3
Todas	G x L	70	<0,01	12,5	<0,01	3,1	<0,01	13,7
Todas	G x C	14	<0,01	0,9	<0,01	0,0	<0,01	0,0
Todas	L x C	5	<0,01	1,6	<0,01	31,1	<0,01	2,6
Todas	G x L x C	70	<0,01	4,9	<0,01	21,2	<0,01	10,9
Todas	Residual	360		7,3		17,7		11,1
CP	G	14	<0,01	3,6	<0,01	14,4	<0,01	5,0
CP	L	5	<0,01	66,8	<0,01	40,2	<0,01	48,0
CP	G x L	70	<0,01	20,8	<0,01	29,5	<0,01	33,3
CP	Residual	180		8,9		15,9		13,7
R1	G	14	<0,01	2,7	<0,01	25,8	<0,01	2,9
R1	L	5	<0,01	60,2	<0,01	10,4	<0,01	59,7
R1	G x L	70	<0,01	26,3	<0,01	31,5	<0,01	25,0
R1	Residual	180		10,7		32,3		12,4

F.V. – fuente de variación; g.l. – grados de libertad; CM – cuadrados medios; PVF – porcentaje de la varianza total; CP – cepa de caña planta R1 – cepa de primer retoño; PPC – porcentaje de pol en caña

Asimismo, obsérvese que para los tres análisis de varianza realizados (combinado o por cosecha individual) la localidad fue la principal fuente de variación en la varianza fenotípica total. En este sentido reviste gran importancia la replicación de los ensayos en más de una localidad y cosecha, para aprovechar eficientemente la interacción genotipo-ambiente, como también lo han señalado otros autores (13, 14).

Para el porcentaje de pol en caña, la contribución de los genotipos a la varianza fenotípica total fue superior respecto la variación provocada por la interacción GL, tanto en el análisis combinado de todas las cosechas como individual. Asimismo, se observó un incremento de la respuesta genética en la cepa de primer retoño con 25,8 %. En estudios similares, diferentes autores (14 15) han señalado que esta variable es menos influenciada por el

ambiente, con una mayor repetibilidad y por tanto heredabilidad, lo que incrementa la respuesta genética, reduciendo el efecto del ambiente en la varianza fenotípica total.

Para la variable t pol.ha⁻¹ se observó similar tendencia al rendimiento agrícola. Estos resultados eran de esperarse por la influencia de esta última variable sobre la primera. En todas las variables evaluadas, excepto para el porcentaje de pol en caña y en el análisis combinado y la cepa de primer retoño, el efecto de la localidad fue la principal fuente de variación en la varianza fenotípica total con valores de entre 46,8 y 66,8 %.

Estos resultados justifican la utilización del *biplot* obtenido del modelo de Regresión de Sitios para mostrar las diferencias de las localidades respecto al patrón de interacción GL (12). Asimismo, obsérvese el valor de la

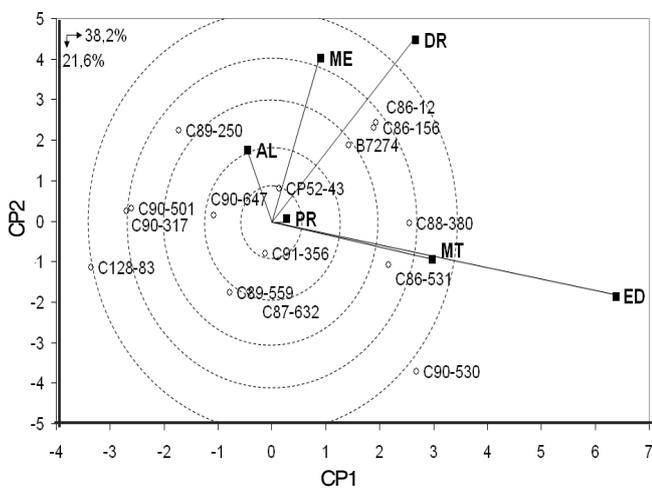
varianza de la interacción GL, en todas las variables evaluadas, fue superior al provocado por la interacción GLC, excepto en el porcentaje de pol en caña. Estos resultados sugieren que la interacción GL sea repetible en el tiempo, es decir, en las sucesivas cosechas, lo que justifica la realización de un *biplot* (modelo de Regresión de Sitios) sobre la media general de las dos cosechas.

En las Figuras 1, 2, 3 y 4 se ilustran los *biplot* obtenidos por este modelo para las tres variables de cosecha analizadas, los que explican entre los dos primeros componentes 64,4 y 79,1 % de la variación total contenida en los efectos de los genotipos (G) y la interacción GL. Estos porcentajes indican que estos *biplots* son adecuados para cumplimentar los objetivos inicialmente propuestos en este trabajo.

VARIABLE T CAÑA.HA⁻¹

En la Figura 1a se puede apreciar las relaciones entre las localidades a través de sus vectores y como estas discriminan a los genotipos. Obsérvese que no existen solapamientos entre las misma respecto al comportamiento de los genotipos para esta variable. Las localidades que se ubicaron más cerca fueron «América Libre» (AL) y «Paquito Rosales» (PR), que poseen el mismo tipo de suelo, similar patrón de temperatura y humedad relativa, aunque con diferencias en los acumulados de precipitaciones. Estas similitudes en las condiciones climáticas provocan patrones de discriminación parecidos en el rendimiento cañero.

a) Relaciones entre los ambientes



b) Capacidad de discriminación y representatividad

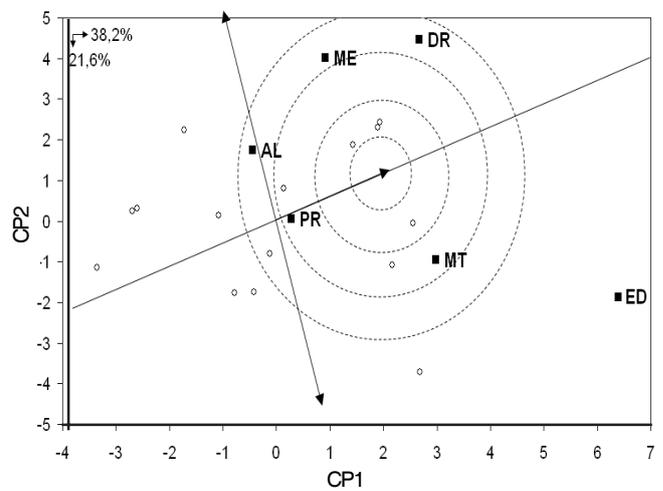
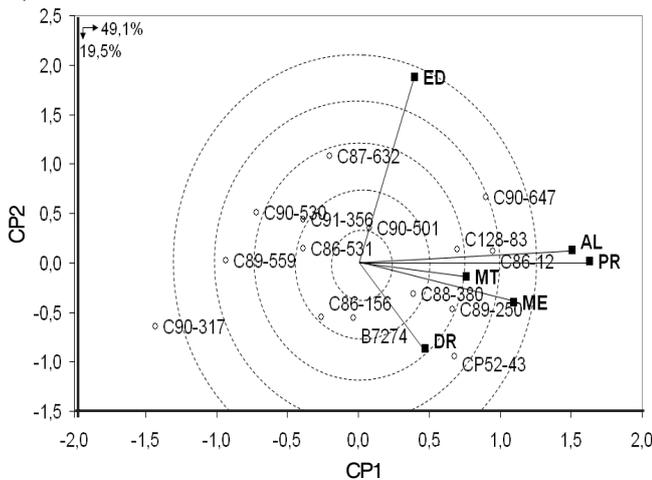


Figura 1. Representación *biplot* de las localidades de prueba a través del comportamiento medio de los genotipos de caña de azúcar (caña planta y primer retoño) para t caña.ha⁻¹

a) Relaciones entre los ambientes



b) Capacidad de discriminación y representatividad

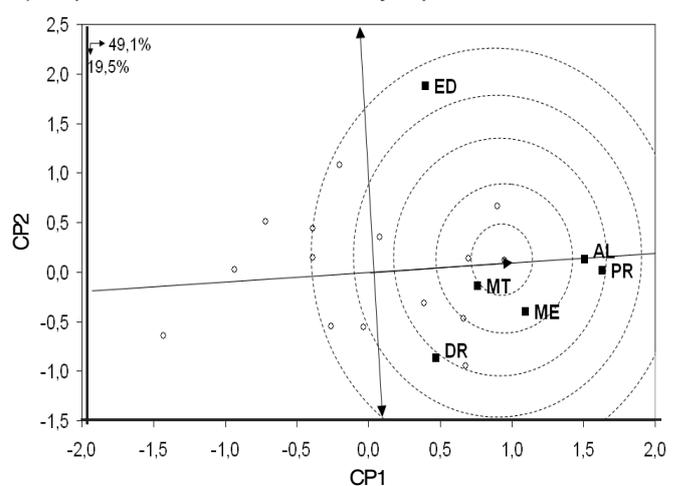
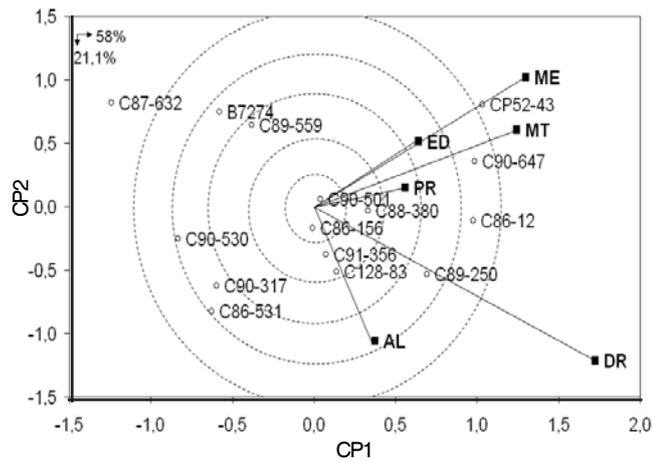


Figura 2. Representación *biplot* de las localidades de prueba a través del comportamiento medio de los genotipos de caña de azúcar en la cepa de caña planta para el porcentaje de pol en caña

a) Relaciones entre los ambientes



b) Capacidad de discriminación y representatividad

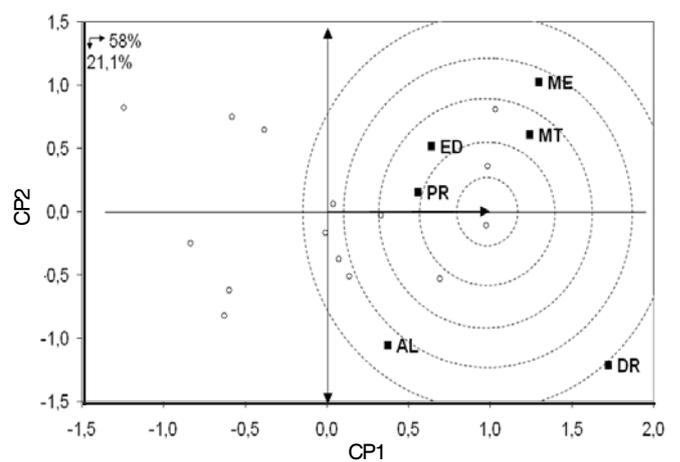
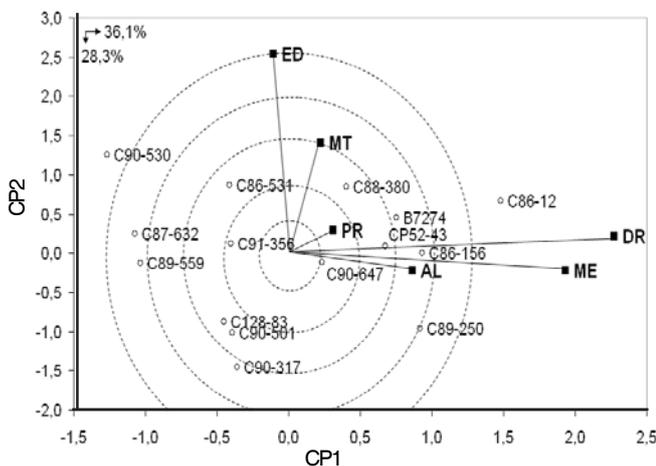


Figura 3. Representación *biplot* de las localidades de prueba a través del comportamiento medio de los genotipos de caña de azúcar en la cepa de primer retoño para el porcentaje de pol en caña

a) Relaciones entre los ambientes



b) Capacidad de discriminación y representatividad

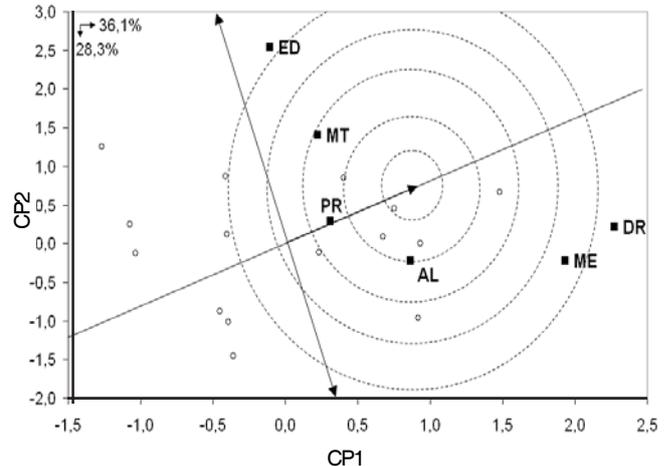


Figura 4. Representación *biplot* de las localidades de prueba a través del comportamiento medio de los genotipos de caña de azúcar (caña planta y primer retoño) para t pol.ha⁻¹

Las localidades «Manuel Tames» (MT) y «Enidio Díaz» (ED), aunque poseen una alta correlación entre ellas (menor ángulo entre sus vectores), difieren en su capacidad de discriminar genotipos. «Enidio Díaz» posee mayor longitud de sus vectores, lo que conduce a seleccionar genotipos más específicos para esta localidad respecto a «Manuel Tames». Estas localidades poseen diferentes suelos y patrones de lluvias (Tabla I). Las localidades de «Julio A. Mella» (ME) y «Dos Ríos» (DR) también poseen capacidad de discriminar, aunque no están asociados a ninguno de los sitios anteriores.

Los resultados anteriores indican que las localidades «Manuel Tames» (MT) y «Enidio Díaz» (ED) pueden considerarse un macroambiente, al igual que las localidades «Julio A. Mella» (ME) y «Dos Ríos» (DR). En este sentido, se define como macroambiente un grupo de localidades que, consistentemente, comparten los genotipos más productivos a través del tiempo (16).

En la Figura 1b, se puede determinar, respecto al rendimiento cañero, la localidad más representativa de estudio de nuevos cultivares de caña de azúcar en la región sur oriental de Cuba. Este sitio sería aquel más cercano al punto que representa el promedio de las localidades de las componentes uno y dos, señalado con una flecha sencilla y con círculos concéntricos a este punto (12). En este caso no se encuentran ubicados ninguno de los sitios de prueba de este estudio. La localidad «Paquito Rosales» posee el mismo ángulo que este punto, aunque con poca capacidad de discriminación de genotipos. «Manuel Tames» es la otra localidad más cercana, pero con un mayor ángulo entre sus vectores.

Estos resultados indican que para el rendimiento cañero es insuficiente el actual sitio donde se realiza la selección y estudios de nuevos cultivares en la región sur oriental, debido a que no se produjeron solapamientos entre los ambientes de prueba.

Las localidades más discriminantes y que deberían incluirse en la red de estudios para la última etapa del programa de selección son: «Enidio Díaz» (ED), «Julio A. Mella» (ME), «América Libre» (AL) y «Dos Ríos» (DR).

VARIABLE PORCENTAJE DE POL EN CAÑA

Al realizar los biplots por cosecha individual, obsérvese que para la cepa de caña planta (Figura 2a), cuatro de las seis localidades de prueba manifiestan similar información acerca del comportamiento de los genotipos para esta variable de cosecha. Estas localidades son: «Manuel Tames» (MT), «Julio A. Mella» (ME), «América Libre» (AL) y «Paquito Rosales» (PR). Dentro de estos cuatro sitios, PR y AL fueron los más discriminantes en la selección de nuevos cultivares.

Las localidades de «Enidio Díaz» y «Dos Ríos» fueron las más discriminantes para el contenido azucarero, fundamentalmente ED, separada completamente del resto de los ambientes. Asimismo, se determinó que las localidades más representativas en la selección de genotipos fueron «Manuel Tames» y «América Libre» (Figura 2b). Estos sitios se ubicaron muy próximos al punto que indica la flecha del ambiente «ideal» para esta variable. Sin embargo, la localidad AL sería más ideal que MT por presentar mayor correlación respecto a este punto (menor ángulo entre sus vectores) y mayor capacidad de discriminación de genotipos (mayor longitud de su vector respecto a MT).

En relación con los resultados del primer retoño (Figura 3), nótese los cambios en las relaciones entre los ambientes. Existen cuatro sitios que ofrecen similar información en el comportamiento de los genotipos y que tres de estos sitios (MT, PR y ME) coinciden con los resultados de caña planta (Figura 3a). En este grupo se ubicó también «Enidio Díaz», lo que indica que su capacidad de discriminación de genotipos mostrado en la cepa de caña planta, no fue consistente en el tiempo. La localidad de «Dos Ríos» nuevamente fue muy discriminante, separándose del resto de las localidades, así como «América Libre».

Para esta cepa, no existió una definición precisa de la localidad ideal (Figura 3b), debido a que no se ubicó ninguna próxima a este punto. La localidad más cercana fue «Paquito Rosales», lo que coincide parcialmente con los resultados de la cepa de caña planta. La localidad «América Libre» que resultó ser el sitio ideal en la cepa de caña planta, en esta cosecha se separó de este punto.

VARIABLE T POL.HA⁻¹

Las relaciones entre las localidades presentaron similares tendencias a la observada para el rendimiento cañero. Esta relación es de esperarse por ser un producto de la misma con una gran influencia en sus valores. Es decir, las localidades «Dos Ríos» (DR) y «Julio A. Mella» (ME), se agruparon, aunque con diferencias en su

capacidad de discriminar genotipos (superior en DR). Los sitios de «Enidio Díaz» (ED) y «Manuel Tames» (MT), también se asociaron en la respuesta de los genotipos. «América Libre» (PR) y «Paquito Rosales» (PR), presentaron poco poder discriminativo, ubicándose cerca del centro del gráfico, similar a lo mostrado para el rendimiento cañero (Figura 4).

Estos resultados indican que en la región de oriente sur es necesario ampliar la red de sitios de pruebas de nuevos cultivares de caña de azúcar de la última etapa del programa de mejora. Del único sitio que se prueban estos cultivares («América Libre»), son necesarias también las localidades de «Julio A. Mella», «Enidio Díaz» y «Dos Ríos», por su capacidad de discriminación en la selección de genotipos. De esta manera se aprovecha más eficientemente la interacción genotipo-ambiente, se recomiendan genotipos específicos para cada zona y se eleva la eficacia del programa de selección para esta región.

El modelo de Regresión de Sitios se ha utilizado para optimizar los sitios de prueba de nuevos cultivares en el programa de selección de la Florida y elevar la eficiencia en la recomendación de estos genotipos (6). Estos autores recomendaron eliminar un sitio de prueba de nuevos cultivares de suelo orgánico, para aumentar de uno a dos sitios de pruebas de suelo arenoso, sin comprometer la selección de genotipos con altos rendimientos cañeros y azucareros.

CONCLUSIONES

- ◆ Se determinó la existencia del fenómeno de la interacción genotipo-ambiente en los sitios estudiados y se cuantificó una alta contribución ambiental a la varianza fenotípica total para t caña.ha⁻¹ (66,8 %), porcentaje de pol en caña (40,2 %) y t pol.ha⁻¹ (59,7 %).
- ◆ Se evidenció que es insuficiente un solo sitio de prueba de nuevos cultivares de caña de azúcar en la etapa final del programa de mejora de la caña de azúcar de la región sur oriental, lo que justifica la necesidad de replicar estos estudios en las localidades «Enidio Díaz», «América Libre» y «Dos Ríos» para la obtención de cultivares con elevado rendimiento agrícola e industrial.

REFERENCIAS

1. Lapinel, B.; Cutre, V. y Fonseca, C. ¿Se humedecerá la sequía?. *Periódico Granma*. 2010, junio 12, p. 8.
2. Jorge, H.; García, H.; Jorge, Ibis; Bernal, N.; Marrero, A.; Delgado, J.; Cabrera, L.; Delgado, I.; Díaz, M.; Vera, A.; Céspedes, A.; Ojeda, E.; Valladares, F.; Castro, S.; Cruz, R.; Peña, L.; Puchades, Y. y Rodríguez, R. Red experiemntal para el desarrollo de las investigaciones de la caña de azúcar en Cuba. ¿Necesarias?. *Rev. Cuba & Caña*, 2010, no. 2, p. 33-48.

3. Gilbert, R. A.; Shine, J. M.; Miller, J. D.; Rice, R. W. y Rainbolt, C. R. The effect of genotype, environment and time of harvest on sugarcane yields in Florida, USA. *Field Crops Research*, 2006, vol. 95, p. 156-170.
4. Gauch, H. G.; Hans-Peter, P. y Annicchiarico, P. Statistical Analysis of Yield Trials by AMMI and GGE: Further Considerations. *Crop Sci.*, 2008, vol. 48, p. 866-889.
5. Yan, W. y Tinker, N. A. Biplot analysis of multi-environment trial data: Principles and applications. *Can. J. Plant Sci.*, 2006, vol. 86, p. 623-645.
6. Glaz, B. y Kang, S. M. Location Contributions Determined via GGE Biplot Analysis of Multi-environment Sugarcane Genotype-Performance Trials. *Crop Sci.*, 2008, vol. 48, p. 941-950.
7. Naveed, M.; Nadeem, M. y Islam, N. AMMI analysis of some upland Cotton genotypes for yield stability in different milieus. *World Journal of Agric. Sci.*, 2007, vol. 3, no. 1, p. 39-44.
8. Varela, M.; Crossa, J.; Kumar, A.; Paul, J.; Cornelius, L. y Manes, Y. Generalizing the Sites Regression Model to Three-Way Interaction Including Multi-Attributes. *Crop Science*, 2009, vol. 49, p. 1-15.
9. Hernández, A.; Pérez, J. M.; Bosch, D. y Rivero, L. Nueva Versión de Clasificación Genética de los Suelos de Cuba. *AGRINFOR*, 1999, p. 64.
10. Jorge, H.; González, R.; Casas, M. y Jorge, I. Normas y Procedimientos del Programa de Mejoramiento Genético de la Caña de Azúcar en Cuba. PUBLINICA . La Habana, Cuba, 2011, p. 308.
11. Smith, E. P. Biplot program. Statistics Department of Virginia Tech. [Consultado: 20 de enero 2010]. Disponible en: <<http://www.stat.vt.edu/facstff/epsmith.html>>.
12. Yan, W.; Kang, M. S.; Ma, B.; Woods, S. y Cornelius, P. L. GGE biplot vs. AMMI analysis of genotype-by-environment data. *Crop Sci.*, 2007, vol. 47, p. 643-655.
13. Gálvez, G. Interacción genotipo-ambiente en el mejoramiento de plantas en la era de genómica. ¿Dónde estamos?. *Rev. Cuba & Caña*, 2010, no. 1, p. 57-67.
14. Jorge, H.; García, H.; González, V. A.; Fernández, Z. y Díaz, R. Interacción Genotipo-Ambiente en variedades de caña de azúcar en Cienfuegos, Comparación de métodos para la estimación de la estabilidad. *Rev. ATAC*, 1996, no. 1, p. 34-42.
15. Castro, S.; Bernal, N. y Freeman, J. Clasificación de ambientes en caña de azúcar. Análisis factorial y componentes principales en etapas intermedias. *Rev. Centro Azúcar*, 1990, no. 3, p. 32-34.
16. Yan, W. y Rajcan, I. Biplot evaluation of test sites and trait relations of soybean in Ontario. *Crop Sci.*, 2002, vol. 42, p. 11-20.

Recibido: 30 de agosto de 2011

Aceptado: 13 de septiembre de 2012

¿Cómo citar?

Rodríguez Gross, Reynaldo; Puchades Izaguirre, Yaquelin; Bernal Liranza, Norge; Jorge Suárez, Héctor; Tamayo Isaac, Mónica; Caraballoso, Víctor y Vázquez López, Ledislana. Contribución de las localidades de prueba en estudios multiambientales de caña de azúcar. *Cultivos Tropicales*, 2013, vol. 34, no. 2, p. 38-44.