

CONTRIBUCIÓN DE LAS LOCALIDADES EN ESTUDIOS MULTIAMBIENTALES DE CAÑA DE AZÚCAR EN LA REGIÓN SUR ORIENTAL DE CUBA DETERMINADO POR ANÁLISIS DEL BIPLLOT GGE

Reynaldo Rodríguez Gross. reynaldo@eticaciges.inf.cu
Yaquelin Puchades Isaguirre; Norge Bernal Liranza; Héctor Jorge Suárez; Hector García Pérez
Instituto Nacional de Investigaciones de la Caña de Azúcar. Teléfono (07) 2624438

RESUMEN

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 e identificar las localidades necesarias para conducir estos estudios que permitan determinar los cultivares más productivos en cada zona. 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 caña ha^{-1}), porcentaje de pol en caña y $pol\ ha^{-1}$. Para el análisis de los datos se aplicó el modelo de Regresión de Sitios (SREG). 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 en 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 $t\ pol.ha^{-1}$, se pudo determinar que es insuficiente la localidad de América Libre como único 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 que se añadan a estos estudios las localidades Enidio Días, Julio A. Mella y Dos Ríos.

Palabras claves: caña de azúcar, interacción genotipo-ambiente, biplot GGE

ABSTRACT

The objective of this study were to assess the locations contributions in the final testing stage for the sugarcane 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 cane ha^{-1}), pol percentage in cane and $pol\ ha^{-1}$ were recorded. Results were visualized using GGE model. 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 Días, Julio A. Mella and Dos Rios 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.

Key Word: sugarcane, interaction genotype-environment, biplot GGE

INTRODUCCIÓN

En la región sur oriental de Cuba, la caña de azúcar se cultiva en aproximadamente 100000 ha de suelos aptos y moderadamente aptos. No obstante, existen áreas (24,5%) dentro de estas categorías con 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 (Lapinel et al., 2010). 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 (García, 2007).

Diversos estudios de interacción genotipo-ambiente (I. GXA) 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 (Gilbert y col., 2006). En la región sur oriental existe un solo sitio de prueba de estudios de nuevos cultivares, el que representa 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. Tal es el caso del biplot obtenido del modelo de Regresión de Sitios (Yan, 2001) y ha sido utilizado para estimar las interacciones genotipo-ambiente (GE) en diferentes cultivos (Glaz and Kang, 2008).

Para mejorar la eficiencia del programa de selección de nuevos cultivares en la región su oriental de Cuba, se desarrolló el presente trabajo 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 esta región e identificar las localidades necesarias para conducir los estudios de nuevos cultivares que permitan determinar los cultivares más productivos en cada zona.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para la realización de este trabajo se utilizaron 15 genotipos seleccionados y recomendados por el Instituto Nacional de Investigaciones de la Caña de Azúcar de Cuba, plantados en seis localidades de la región sur oriental de Cuba y evaluados en 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, según

Hernández et al., 1999, se presentan en la Tabla 1. 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-química, mejor balance hídrico e índice de aridez.

Tabla 1. Principales características de las localidades estudiadas

Provincia	Localidad	Abrev.	Suelos	Temp	Lluvias
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 Días	ED	Húmico Rendzina Roja	26,2	911,9
Guantánamo	Manuel Tames	MT	Pardo Sialítico	25,6	1096,5

Abrev. – Abreviaturas Temp.- Temperatura media (°C) - Lluvias (mm)

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 B7274 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 (Jorge et al. 2002). 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, así como “combinado”, es decir considerando un arreglo trifactorial de genotipos, localidades y cepas (todos como efectos aleatorios).

Para cumplimentar los objetivos propuestos en este trabajo, se utilizó para cada variable de cosecha el biplot obtenido por el modelo de Regresión de Sitios (Yan et al, 2000). 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 según Yan et al (2007).

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 2). 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. 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 (González, 1995; y García, 2004).

En el análisis de varianza para el porcentaje de pol en caña, la contribución de los genotipos a la varianza fenotípica total fue superior respecto a variación provocada por la interacción GL que en el resto de las variables evaluadas, e incluso superior en el análisis combinado con un valor de 15,7%. Asimismo, se observó un incremento de la respuesta genética en la cepa de primer retoño con 25,8%. En estudios similares, diferentes autores (González, 1995; Jorge, 1996 y García, 2004) 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 caña ha^{-1} , se observó similar tendencia al rendimiento agrícola. Estos resultados eran de esperar 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 (Yan, et al., 2000). Asimismo, obsérvese en esta misma tabla 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, 4, 5 y 6 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

Tabla 2. 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	gl	t caña/ha		PPC		t pol/ha	
			<i>F</i>	PVF	<i>F</i>	PVF	<i>F</i>	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						
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						
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						

F.V. – Fuente de variación; gl – 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

Rendimiento cañero

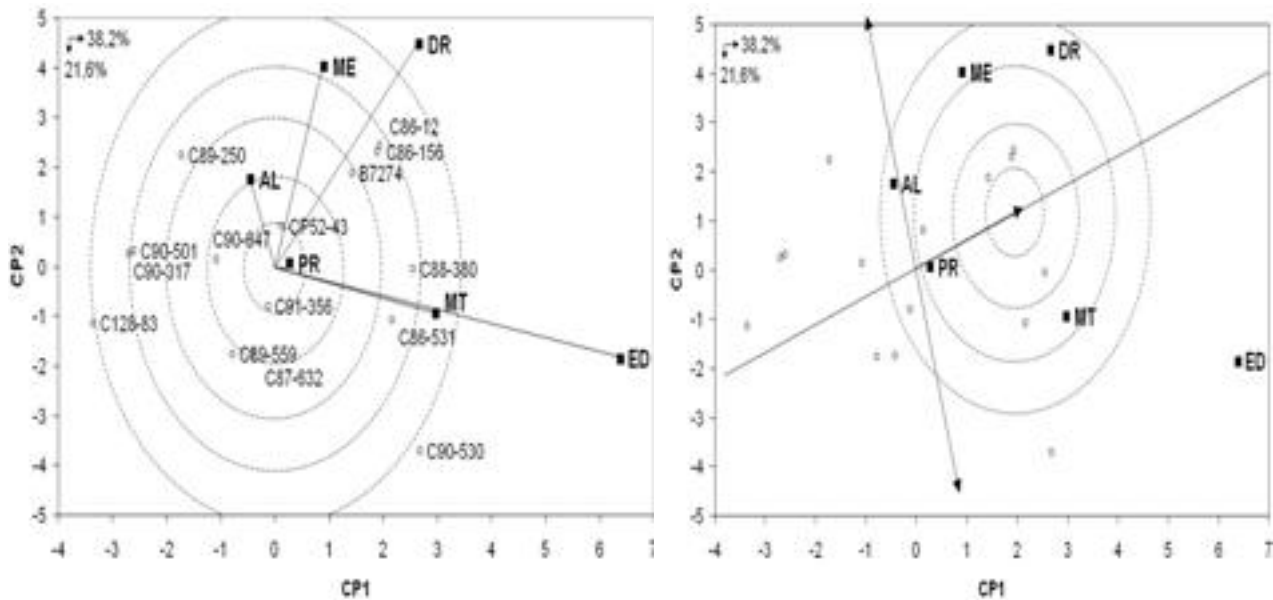
En la figura 1a se puede apreciar las relaciones entre las localidades a través de sus vectores y como éstas discriminan a los genotipos. Obsérvese que no existen solapamientos entre las misma respecto al comportamiento de los genotipos para esta variable. Las localidades que se ubicaron más cercas fueron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

Las localidades Manuel Tames (MT) y Enidio Días (ED), aunque poseen una alta correlación entre ellas (menor ángulo entre sus vectores), difieren en su capacidad de discriminar genotipos. Enidio Días, posee mayor longitud de sus vectores, lo que conduce a los genotipos a comportarse de manera diferenciada respecto a Manuel Tames. Estas localidades poseen diferentes suelos y patrones de lluvias. Las localidades de Julio A. Mella (ME) y Dos Ríos (DR) también discriminan a los genotipos, no asociándose a ninguno de los sitios anteriores.

En la figura 1b, se puede determinar la localidad “ideal” de estudio de nuevos cultivares de caña de azúcar en la región sur oriental de Cuba respecto al rendimiento cañero. Este sitio sería aquel más cercano al punto que representa el promedio de las localidades de la componente uno y dos, señalado con una flecha sencilla y con círculos concéntricos a este punto (Yan, 2000). En este caso no se encuentra ubicado ninguno de los sitios de prueba de este estudio. Las localidades Paquito Rosales posee el mismo ángulo que este punto, sin embargo 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 Días (ED), Julio A. Mella (ME) y Dos Ríos (DR), además de la ya existente de América Libre (AL).



(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.

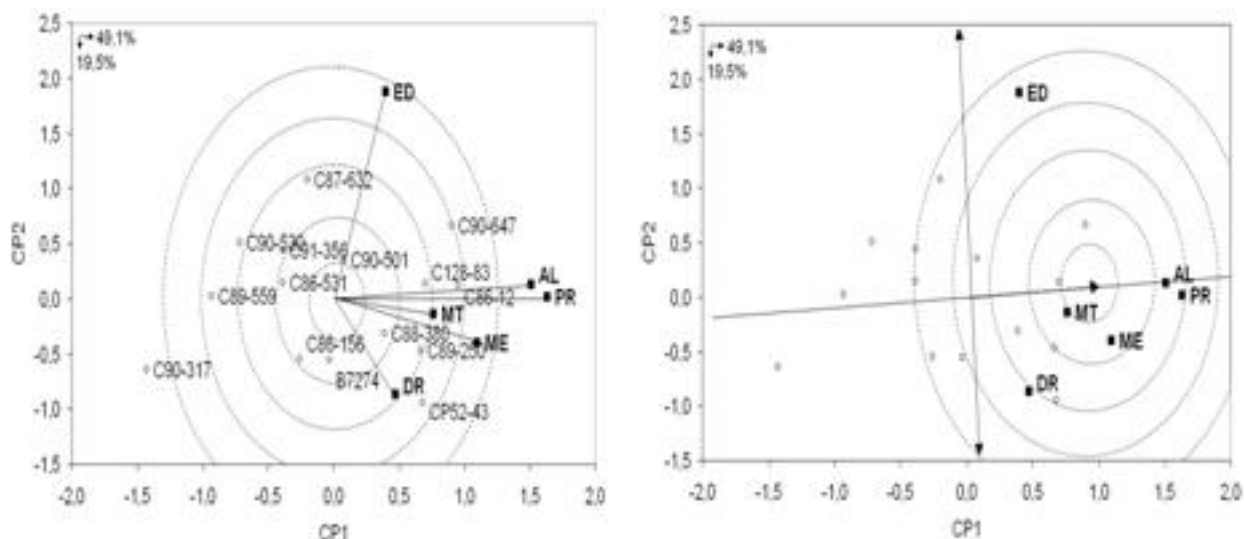
Variable porcentaje de pol en caña

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 Días 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).

Respecto, a los resultados del primer retoño (Figuras 3), nótense 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 Días, lo que indica que su capacidad de discriminación 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.



(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

Para esta cepa, no existió una definición de la localidad ideal (Figura 3b), debido a que no ubicó ninguna próxima a este punto. La localidad más cercana fue Manuel Tames, resultados que coinciden con la cepa de caña planta. La localidad América Libre que resultó el sitio ideal, en la cepa de caña planta, en esta cosecha se separó de este punto.

Variable $t \text{ pol.ha}^{-1}$

Par esta variable, las relaciones entre las localidades presentó similar tendencia a la observada para el rendimiento cañero. Esta relación es de esperar 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 Días (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).

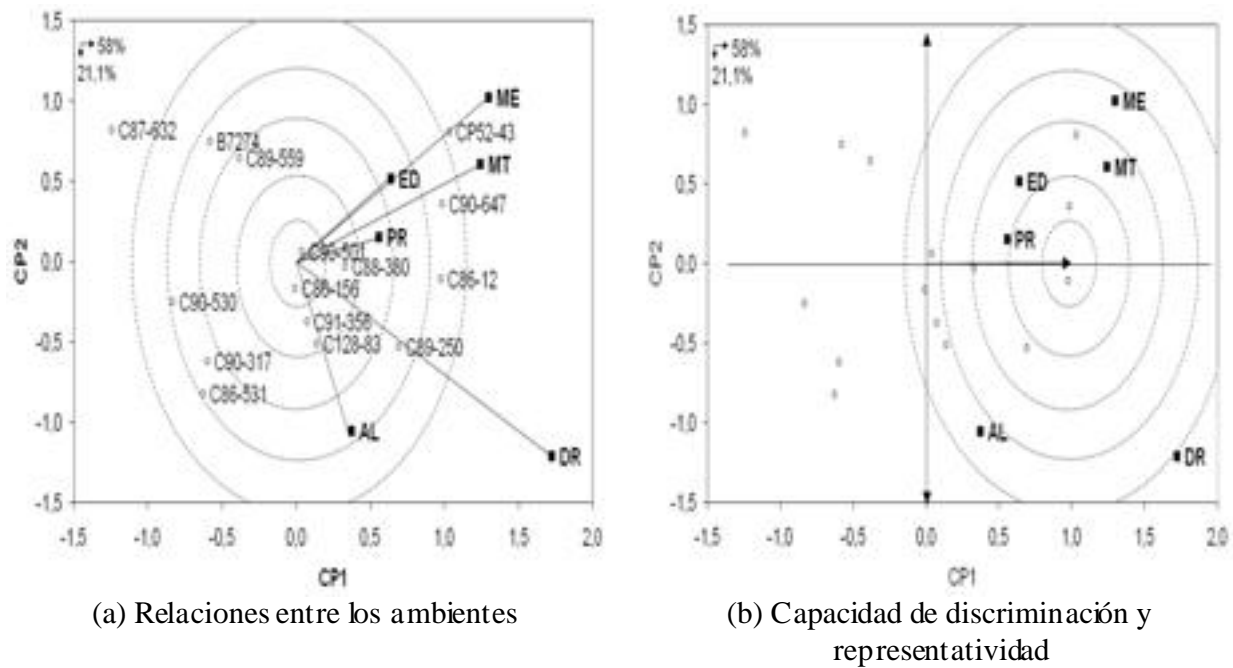


Figura 3. Representación biplot de las localidades de prueba a través del comportamiento medio de los genotipos de caña de azúcar en la cepa de primer retoño para el porcentaje de pol en caña

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, Enidío Días 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.

Glaz y Kang (2008), utilizaron los biplots obtenidos del modelo de Regresión de Sitios para optimizar y 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. 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.

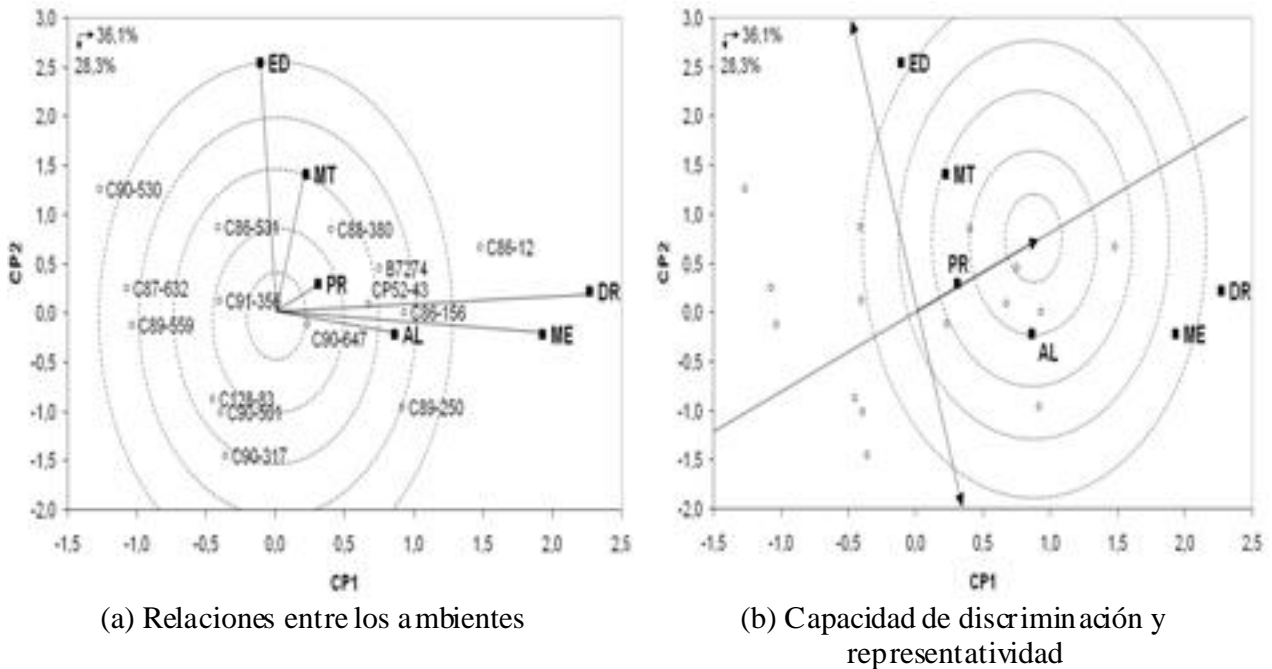


Figura 4. Representación biplot de las localidades de prueba a través del comportamiento medio de los genotipos de caña de azúcar (caña planta y primer retoño) para t pol ha⁻¹.

CONCLUSIONES

1. 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 en las tres variables evaluadas.
2. 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 Días, Julio A. Mella, Dos Ríos y América Libre.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. García, H. (2004). Optimización del proceso de selección de variedades de caña de azúcar tolerantes al estrés por sequía y mal drenaje en la región central de Cuba. Tesis presentada en opción al grado Científico de Dr. en Ciencias Agrícolas. INICA.
2. García H. (2007). Fitomejoramiento Participativo en caña de azúcar, complementación necesaria de la mejora convencional. Propuesta de Proyecto de Investigación. ETICA Villa Clara – Cienfuegos. INICA. Ministerio del Azúcar.
3. Glaz, B. and Kang, S. M. (2008). Location Contributions Determined via GGE Biplot Analysis of Multienvironment Sugarcane Genotype-Performance Trials. *Crop Sci.* 48:941-950.

4. Gilbert R. A., Shine J. M., Miller J. D., Rice R. W. and Rainbolt C. R. (2006). The effect of genotype, environment and time of harvest on sugarcane yields in Florida, USA. *Field Crops Research* 95, 156-170.
5. González, A. (1995). Caracterización del efecto ambiental en estudios de regionalización de variedades de caña de azúcar en la provincia Las Tunas. Tesis en opción al grado de Dr. en ciencias agrícolas. INICA. 120 pp.
6. Hernández, A; Pérez, J.M; Bosch, D. y Rivero, L. (1999). Nueva Versión de Clasificación Genética de los Suelos de Cuba. *AGRINFOR*, 64 pp.
7. Jorge; H. (1996). Estudio genético de los componentes agroazucareros en las etapas clonales del esquema de selección partiendo de posturas aviveradas de caña de azúcar (*Sccharum spp*). Cienfuegos. Tesis presentada en opción al grado científico de Dr. En Ciencias Agrícolas. Ministerio del Azúcar. INICA. 90p.
8. Jorge, H.; R. González, M. Casas e Ibis Jorge. (2002). Normas y Procedimientos del Programa de Mejoramiento Genético de la Caña de Azúcar en Cuba. *Boletín No. 1 Cuba&Caña*. INICA. 308p.
9. Lapinel, B.; Cutre, V. y Fonseca, C. 2010b. ¿Se humedecerá la sequía? *Granma (Cu)*, junio 12:8.
10. Yan, W., L.A. Hunt, Q. Sheng, and Z. Szlavnic. (2000). Cultivar evaluation and mega-environment investigation based on the GGE biplot. *Crop Sci.* 40: 597-605.
11. Yan, W. (2001). GGEbiplot – A Windows application for graphical analysis of multi-environment trial data and other types of two-way data. *Agron. J.* 93:1111–1118.
12. Yan, W., M.S. Kang B. Ma, S. Woods, and P.L. Cornelius. (2007). GGE biplot vs. AMMI analysis of genotype-by-environment data. *Crop Sci.* 47:643–655.