

Selección de cultivares de caña de azúcar estables y productivos en la compañía azucarera La Estrella

Héctor Jorge Suárez^{1*}, Alberto González Marrero¹, Antonio Menéndez Sierra¹, Antonio Vera Méndez¹

¹Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar. Carretera CUJAE, km 1. Boyeros. La Habana. Cuba. CP 19390.

*Autor para correspondencia e-mail: hector.jorge@inica.azcuba.cu

RESUMEN

La evaluación de la respuesta cultivares de caña de azúcar (*Saccharum* spp.) en diferentes ambientes es una práctica común para seleccionar los de mayor producción. El trabajo tuvo como objetivo seleccionar cultivares estables y productivos con fines comerciales. Se emplearon 17 cultivares de diferente origen geográfico en la compañía azucarera La Estrella S.A. de la República de Panamá. La evaluación se realizó en la cepa de primer retoño en tres localidades, mediante las variables t caña ha⁻¹, porcentaje de pol en caña y t pol. ha⁻¹. Se realizaron análisis de varianza de clasificación doble de efectos aleatorios para estimar la contribución de los factores y sus interacciones a la variación fenotípica total. Se emplearon los modelos AMMI para determinar la estabilidad y adaptabilidad de los cultivares. También se calcularon la heredabilidad en sentido amplio, el Coeficiente Genético de Variación (CGV) y los errores estándares. Los resultados expresaron la existencia de interacción genotipo-ambiente en las localidades estudiadas, se cuantificó una alta contribución ambiental a la varianza fenotípica total para los caracteres t caña y pol ha⁻¹, que osciló entre el 56.5 y 58.44%. Para el porcentaje de pol en caña el aporte de esta interacción fue 56.67%. Los cultivares mostraron una respuesta diferencial en las diferentes condiciones ambientales. Los que resultaron estables y adaptados integralmente a las condiciones edafoclimáticas fueron 'B74125' (control), 'C89-147', 'C90-469', 'CTC12-128' y 'CP01-2459' y se recomiendan para su validación en áreas comerciales.

Palabras clave: interacción genotipo-ambiente, *Saccharum*, variación fenotípica

Selection of stable and productive sugarcane cultivars at La Estrella sugar company

ABSTRACT

The evaluation of the sugarcane cultivars response (*Saccharum* spp.) in different environments is a common practice to select those with the highest production. The objective of the work was to select stable and productive cultivars for commercial purposes. Seventeen cultivars of different geographical origin were used in the sugar company La Estrella S.A. of the Republic of Panama. The evaluation was carried out in the first sprout of the stump in three locations, using the variables t cane ha⁻¹, percentage of pol in cane and t pol ha⁻¹. Double classification variance analyzes of random effects were performed to estimate the contribution of the factors and their interactions to the total phenotypic variation. AMMI models were used to determine the stability and adaptability of cultivars. Inheritance in a broad sense, the Genetic Coefficient of Variation (CGV) and standard errors were also calculated. The results expressed the existence of genotype-environment interaction in the locations studied, a high environmental contribution was quantified to the total phenotypic variance for the characters t cane and pol ha⁻¹, which ranged between 56.5 and 58.44%. For the percentage of pol in cane the contribution of this interaction was 56.67%. The cultivars showed a differential response in the different environmental conditions. Those that were stable and fully adapted to the soil and climate conditions were 'B74125' (control), 'C89-147', 'C90-469', 'CTC12-128' and 'CP01-2459' and those are recommended for validation in areas commercial.

Keywords: genotype-environment interaction, *Saccharum*, phenotypic variation

INTRODUCCIÓN

Los ensayos multiambientales son comunes en la evaluación de germoplasma vegetal y al ser replicados, constituyen una colección de estudios en diferentes ambientes (localidades y/o años) en los que se evalúan varios cultivares. Estos pueden ser plantados en un diseño experimental, por ejemplo, en bloques completamente aleatorizados (con bloques completos o incompletos) (Balzarini *et al.*, 2004).

En ensayos repetidos en el tiempo un ambiente se define a partir de la combinación de los factores localidad y año (para anuales) o de la combinación de los factores localidad y ciclo de cultivo (para perennes) (Annicchiarico, 2002). Baker (1990) señaló que la Interacción Genotipo-Ambiente (IGA) es la respuesta diferencial de un cultivar a través de diferentes ambientes.

Dentro de los métodos propuestos para estudiar la estabilidad y adaptabilidad fenotípica, se encuentran métodos multivariados como los modelos de Efectos Principales Aditivos e Interacción Multiplicativa (AMMI). Estos modelos combinan el Análisis de Varianza (ANOVA), para los efectos principales aditivos, con la descomposición en valores y vectores singulares o Análisis de Componentes Principales (ACP) para la estructura multiplicativa de la interacción (Gauch, 2006). Tienen como objetivo explicar la interacción asociada a un análisis de varianza bifactorial, a partir de una representación simultánea de filas (genotipos) y columnas (ambientes) y dan la posibilidad de estudiar el grado de estabilidad de los cultivares al ser probados en diferentes ambientes (Varela y Castillo, 2005).

Las tendencias internacionales para el manejo seguro y sostenible de los cultivares de caña de azúcar asumió el uso de la resistencia horizontal más sólida y duradera, únicamente posible con la explotación de una amplia variabilidad genética presente en un mayor número de cultivares con una distribución equilibrada en su propagación y un límite máximo del 25% a nivel de ingenio (González, 2019). Para ello, se han realizado un grupo de estudios que permiten anualmente obtener información sobre los cultivares con perspectivas y liberar nuevas

variedades al proceso productivo. En la última etapa de selección se mantiene una red de sitios de prueba para ensayos comparativos, ubicados en diferentes localidades agroclimáticas del área cañera lo que proporciona hacer un uso eficiente de la interacción genotipo x ambiente. Esto permite recomendar cultivares de adaptación general o específica (Parvizi, 2013).

La Compañía Azucarera La Estrella S.A (CALESA) de la República de Panamá, trabaja en mejorar su composición de cultivares de caña de azúcar porque presentaba una evidente hegemonía de un solo cultivar. Primero con B74125 que llegó a ocupar el 58.6% del área cultivada en 2008 y luego con BT7742, que al finalizar 2017 presentaba todavía más de 30%. Atendiendo a lo anterior, el trabajo tuvo como objetivo seleccionar cultivares de caña de azúcar estables y productivos con fines comerciales basado en los resultados experimentales de un grupo de cultivares de diferente origen geográfico en la compañía azucarera La Estrella S.A (CALESA).

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitios y escenarios de los experimentos de campo

El trabajo se desarrolló en el Ingenio Azucarero Ofelina perteneciente a la Compañía Azucarera La Estrella S.A (CALESA), de la República de Panamá, localizado a 240 km de la capital del país (Ciudad Panamá) en el municipio Aguadulce provincia Coclé.

Los sitios (localidades) escogidos para la plantación de los ensayos fueron los campos 196 (suelos Pardos sin carbonato), 734 (suelos Oscuros plásticos) y 998 (suelos Ferralítico rojo) de clase agrícola IV moderado, cuyo rendimiento histórico está entre 70 y 85 t caña ha⁻¹. Cada uno posee diferentes factores limitantes tales como: pedregosidad y baja profundidad efectiva (196), inundación (734) y sequía (998), respectivamente (Cortegaza y Menéndez, 2010). La fecha de plantación fue en el mes de enero de 2015, y se evaluó en la cepa de caña planta en 2016 con 13 meses de cultivo en febrero de 2016 y primer retoño con 12 meses en febrero de 2017. Los experimentos se desarrollaron en similares

condiciones que las establecidas para las plantaciones comerciales. Los resultados que se exponen corresponden a la cepa de primer retoño ya que es la más trascendente para la toma de decisión en el proceso de selección de cultivares de caña de azúcar.

Material vegetal y controles de campo

Se plantaron 17 cultivares de diferente origen geográfico (dos del programa de mejoramiento genético de Canal Point de EEUU, ocho del programa de Cuba, tres del programa de CTC de Brasil, dos del programa de Barbados, uno de Australia y uno del programa de República Dominicana) (Tabla 1). Se utilizaron como controles los cultivares de la empresa Ragnar, 'B74125', 'BT7742' y 'CR74-250'.

Los estudios fueron conducidos y evaluados, según las Normas y Procedimientos para el Mejoramiento Genético de la Caña de Azúcar en Cuba (Jorge *et al.*, 2011). El diseño empleado en el montaje de los ensayos fue de bloques al azar con tres repeticiones y el área de las parcelas fue de 48 m². Las variables de cosecha evaluadas fueron: t caña ha⁻¹ (obtenidas mediante pesaje directo en el campo), porcentaje de pol en caña (% pol en caña = % de sacarosa en jugo * (1- % de fibra/ 100)), y t pol ha⁻¹.

Los datos originales de las variables de cosecha, fueron analizados respecto a su normalidad y homogeneidad de varianza, mediante pruebas de Chi cuadrado y Bartlett-Box F. En ningún caso se hizo necesaria su transformación. Se realizaron análisis de varianza de efectos aleatorios de clasificación doble para conocer la contribución de los factores independientes y sus interacciones a la variación fenotípica total. Para ello se empleó el modelo de Cochran y Cox (1965), el que se denominó Modelo Bifactorial.

Los estimados de heredabilidad en sentido ancho (h²e), fueron calculados a partir de los componentes de varianza (Hogarth, 1968). El error estándar aproximado se obtuvo conforme a Anderson y Bancroft (1952) y Becker (1984) y el coeficiente genético de variación (CGV), según Falconer (1970).

Además se realizaron análisis de estabilidad y adaptabilidad fenotípica mediante el uso de los modelos AMMI (Ecuación 1). Estos modelos combinan los análisis de varianza para los efectos principales aditivos y la descomposición en valores y vectores singulares (DVS) o análisis de componentes principales (ACP), para los parámetros multiplicativos. En este contexto se considera IGA un diseño bifactorial de genotipos y ambientes (Gauch, 2006; Gauch, 2013).

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

Dónde: Yijk: observación correspondiente a la combinación de niveles ij; i: efecto del genotipo i; j: efecto del ambiente j; i, j: efectos principales para genotipos y ambientes respectivamente; m: corresponde al valor singular de orden m; u_{m_i}: coordenada i-ésima del vector singular asociado a m; v_{m_j}: coordenada j-ésima del vector singular asociado a m; e_{ij}: residuo.

Tabla 1. Relación de cultivares de diferente origen geográfico y controles (c) empleados en el estudio.

| No. | Cultivares | No. | Cultivares | No. | Cultivares |
|-----|-------------|-----|-------------|-----|----------------|
| 1 | 'CP01-2459' | 7 | 'CTC10-73' | 13 | 'C90-469' |
| 2 | 'C86-503' | 8 | 'C86-156' | 14 | 'BT7742' (c) |
| 3 | 'CP00-1201' | 9 | 'C90-316' | 15 | 'B74125' (c) |
| 4 | 'C89-176' | 10 | 'C86-12' | 16 | 'Ragnar' (c) |
| 5 | 'CTC12-128' | 11 | 'CTC14-653' | 17 | 'CR74-250' (c) |
| 6 | 'C90-530' | 12 | 'C89-147' | | |

Diseño, variables evaluadas y análisis estadístico

A partir de este modelo, se construyó el biplot AMMI1 en el que se representa, en el eje de las abscisas, los efectos aditivos (media de genotipos y ambientes y la media general), y en el eje de las ordenadas los valores de los marcadores de genotipos y ambientes de la CP1.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de los componentes de varianza y los parámetros genético-estadísticos evidenció que para las variables t caña y de pol ha⁻¹ la contribución a la variación fenotípica total de la interacción genotipo x localidad fue superior a la de los genotipos (Tabla 2). Este resultado indicó la respuesta diferencial de los cultivares en las distintas condiciones ambientales y el peso que estas ejercen sobre la respuesta agroproductiva lo que coincidió con lo descrito por Rodríguez (2012), Jorge *et al.* (2014) y Jorge *et al.* (2018b).

Los efectos ambientales tuvieron la mayor contribución a la varianza fenotípica total en más del 58 y 56% en la producción de caña y de azúcar ha⁻¹, respectivamente. Mientras, en el porcentaje de pol en caña lo fue la interacción genotipo-ambiente con 56.67%, lo que concuerda con lo informado por Jorge *et al.* (2018a).

Los estimados de heredabilidad fueron de nulos a bajos, atribuible a una mayor contribución

de los componentes ambientales y de la interacción genotipo x ambiente y una reducida variabilidad genética de los cultivares evaluados en los caracteres objeto de estudio. Este resultado ratifica lo señalado por Puchades *et al.* (2011).

Los resultados evidenciaron la necesidad de seleccionar cultivares de adaptación específica para cada ambiente, de ahí la importancia de la replicación de los ensayos en espacio (localidades) y tiempo (años y cepas), para de esta forma aprovechar eficientemente la interacción genotipo-ambiente; en este estudio expresada por la interacción genotipo-localidad, tal y como lo señaló Delgado (2019).

En el análisis de estabilidad y adaptabilidad fenotípica, en el modelo AMMI para t caña ha⁻¹, el primer componente extrajo el 76.24% de la varianza contenida en los genotipos y en la interacción genotipo x ambiente (IGA) (Figura 1). Al conformar este tipo de biplot se observó que las localidades de prueba con los cultivares estudiados estuvieron bien diferenciadas lo que se corresponde con lo obtenido por Delgado *et al.* (2016). En este sentido, Yan y Tinker (2006) y Rodríguez *et al.* (2015) señalaron que los cultivares de mejor respuesta en cada localidad son aquellos que se encuentran más cercanos a estas, por lo que tienen una mejor producción en estos sitios.

Tabla 2. Componentes de varianzas y parámetros genéticos en cultivares de caña de azúcar analizados en diferentes sitios de prueba (localidades) en el ingenio La Estrella.

| Componentes de varianza | t caña ha ⁻¹ | | % pol en caña | | t pol ha ⁻¹ | |
|-------------------------|-------------------------|-------|--------------------|-------|------------------------|-------|
| | $\sigma^2 \pm$ E.S | PVFT | $\sigma^2 \pm$ E.S | PVFT | $\sigma^2 \pm$ E.S | PVFT |
| σ^2g | 39.95±25.75 | 15.80 | 0.00 | 0.00 | 0.30±0.14* | 7.40 |
| σ^2l | 42.65±34.35 | 16.87 | 0.08±0.08 | 8.90 | 0.21±0.06* | 5.19 |
| σ^2gxl | 65.11±24.77* | 25.75 | 0.51±0.15* | 56.67 | 1.46±0.28* | 36.04 |
| σ^2e | 105.13±10.31* | 41.58 | 0.31±0.03* | 34.44 | 2.08±0.20* | 51.36 |
| VG | 39.95 | 15.80 | 0.00 | 0.00 | 0.30 | 7.40 |
| VA | 147.78 | 58.44 | 0.39 | 43.33 | 2.29 | 56.50 |
| VGA | 65.11 | 25.75 | 0.51 | 56.67 | 1.46 | 36.04 |
| h ² | 0.16±0.10 | | 0.00 | | 0.07±0.04 | |
| CVG | 6.40 | | 0.00 | | 4.25 | |
| Media ± ES | 98.42±5.42 | | 13.13±0.32 | | 12.88±0.83 | |

VG: genética, VA: ambiental y VGA: interacción genética x ambiental, h²: heredabilidad. CVG: Coeficiente de variación genética %. E.S: Error estándar. PVFT: Porcentaje variación fenotípica total. *: Estimados precisos $\sigma^2 e \geq 2$ E.S

Los cultivares en la localidad 3 correspondiente al campo 734, lograron la media más alta, con interacción positiva del cultivar 'CR74-250' y muy buena adaptación a esta localidad (Figura 1). Por el contrario, en la localidad 2 representada por el campo 998, presentaron los rendimientos más bajos,

donde el cultivar 'CP00-1201' mostró adaptación. En la localidad 1 (campo 196), alcanzaron producciones intermedias, donde los cultivares 'CP01-2459', 'C89-176' y 'Ragnar' se adaptaron, lo que indicó la existencia de adaptabilidad de los cultivares en ambiente específicos. Ello corroboró lo referido por

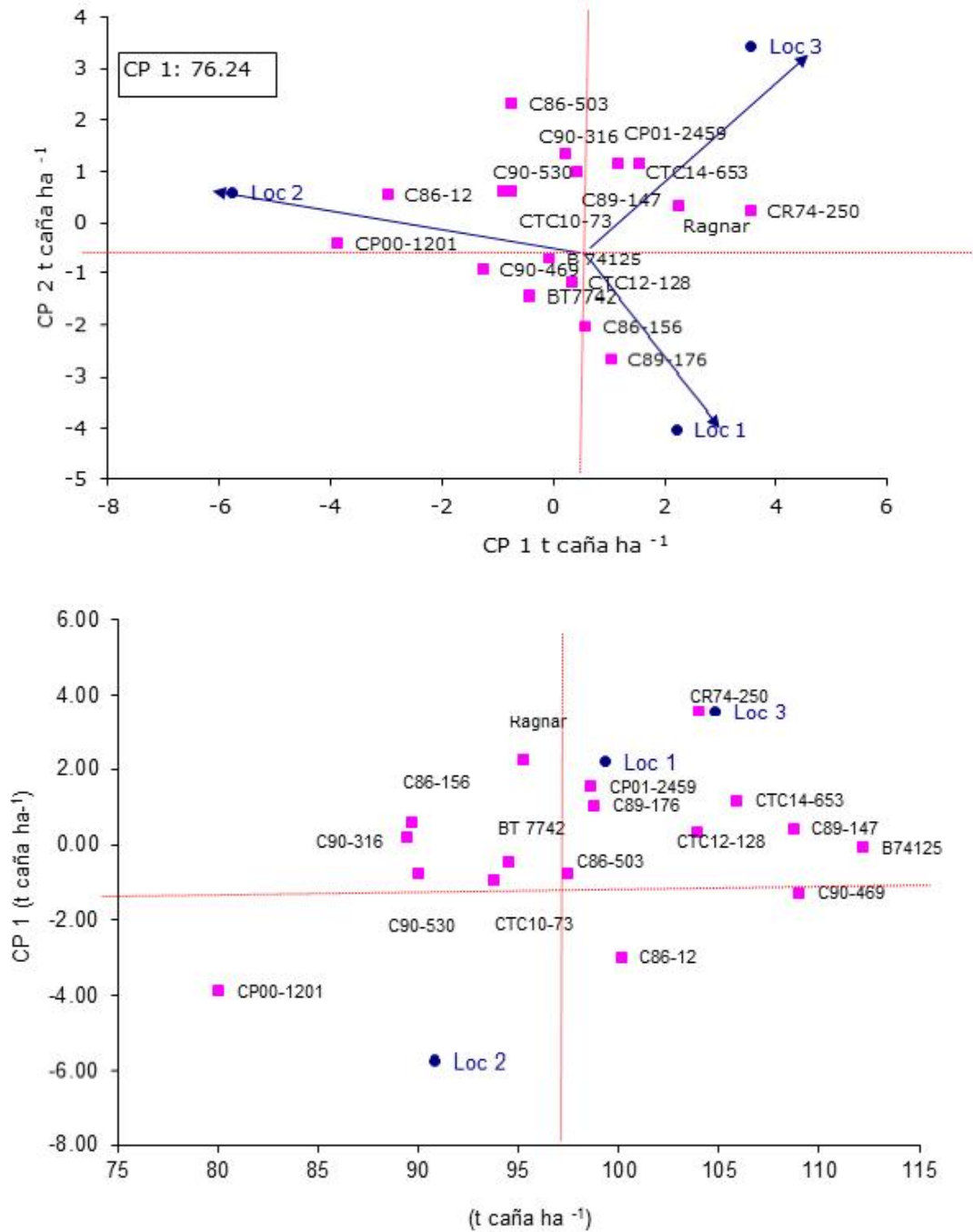


Figura 1. Representación bidimensional de los efectos principales de genotipos y ambientes del modelo AMMI para la variable t caña ha⁻¹ con cultivares de caña de azúcar analizados en diferentes sitios de prueba (localidades) en el ingenio La Estrella.

Rodríguez *et al.* (2010). También se observaron los cultivares más estables, es decir, bajos valores de los marcadores en la CP1 con medias altas. En este caso fueron 'CTC12-128', 'C89-147', 'B74125' y 'C90-469'. 'C86-503' resultó estable y con una producción similar a la media de carácter t caña ha⁻¹. Otros cultivares resultaron estables en sus rendimientos como: 'BT7742', 'CTC10-

73', 'C90-530' y 'C90-316', pero con medias inferiores en la producción de caña a los anteriormente mencionados.

Para la variable porcentaje de pol en caña (Figura 2) la primera componente contribuyó con el 82.21% de la varianza contenida en el efecto de los genotipos más la interacción genotipo x ambiente (IGA).

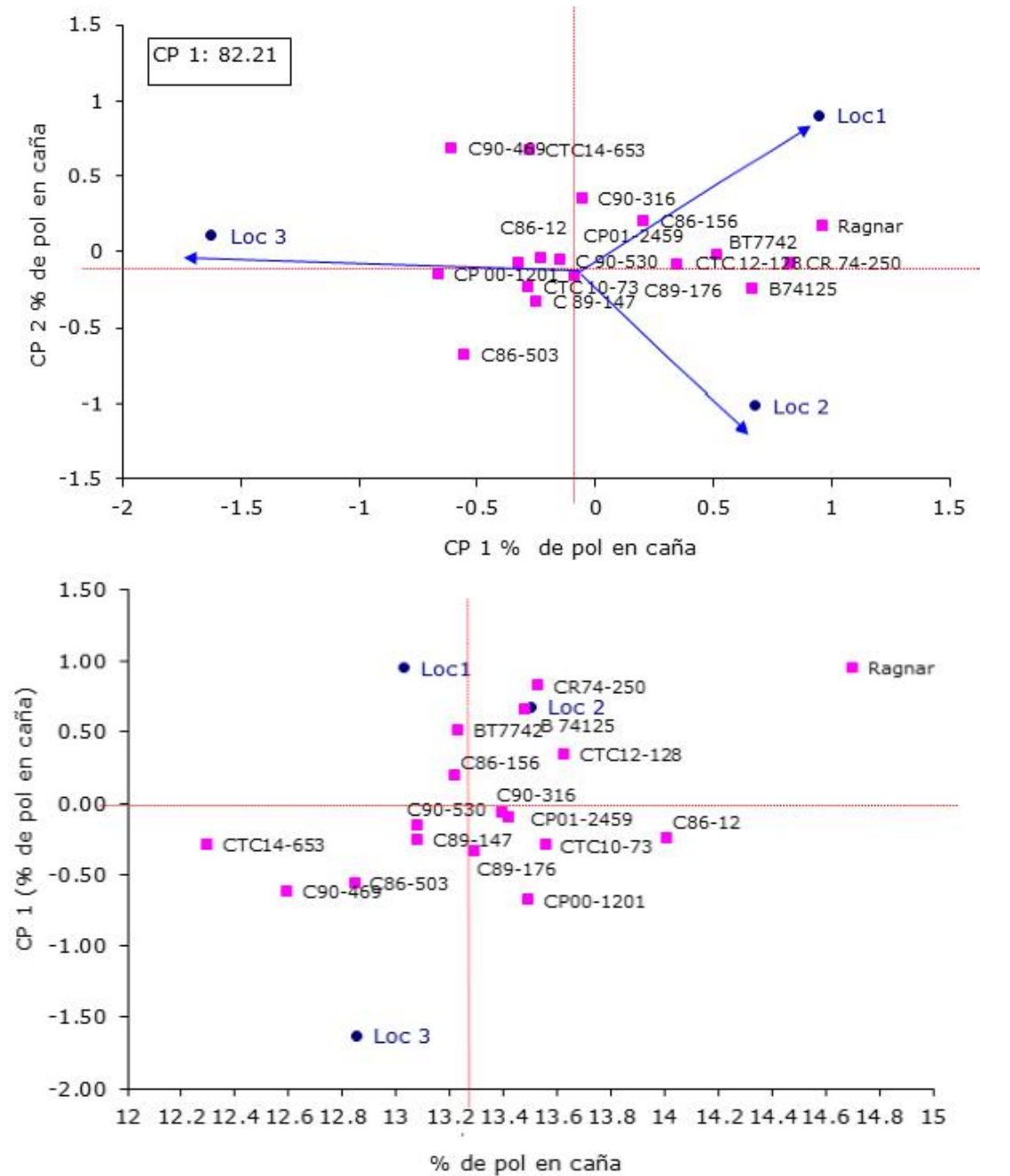


Figura 2. Representación bidimensional de los efectos principales de genotipos y ambientes del modelo AMMI para la variable porcentaje de pol en caña en cultivares de caña de azúcar analizados en diferentes sitios de prueba (localidades) en el ingenio La Estrella.

Se observó una respuesta diferenciada de las localidades donde los cultivares en la localidad 2 (campo 998), presentaron los mayores valores en esta variable. La estabilidad de los cultivares difirió por localidad, lo que confirmó la existencia de adaptabilidad específica, donde 'C90-316', 'CP01-2459', 'C86-12' y 'CTC10-73' fueron los más estables en estos ambientes y de alto rendimiento azucarero. Relacionado con lo anterior, Jorge *et al.* (2017) señalaron a 'C86-12' como un cultivar de alto contenido azucarero durante todo el período de zafra (noviembre – abril) en las condiciones

de Cuba. Sin embargo, el cultivar 'Ragnar' exhibió alto contenido azucarero, pero no resultó estable en los ambientes en que fue evaluado.

La primera componente para las t pol ha⁻¹ (Figura 3), aportó el 62.07% de la varianza contenida en el efecto de los genotipos más la interacción genotipo x ambiente (IGA). La producción de los cultivares por localidades mostró resultados similares a las t caña ha⁻¹. Se ratificó la respuesta estable de los cultivares C90-469, B74125, CTC12-128, 'C89-

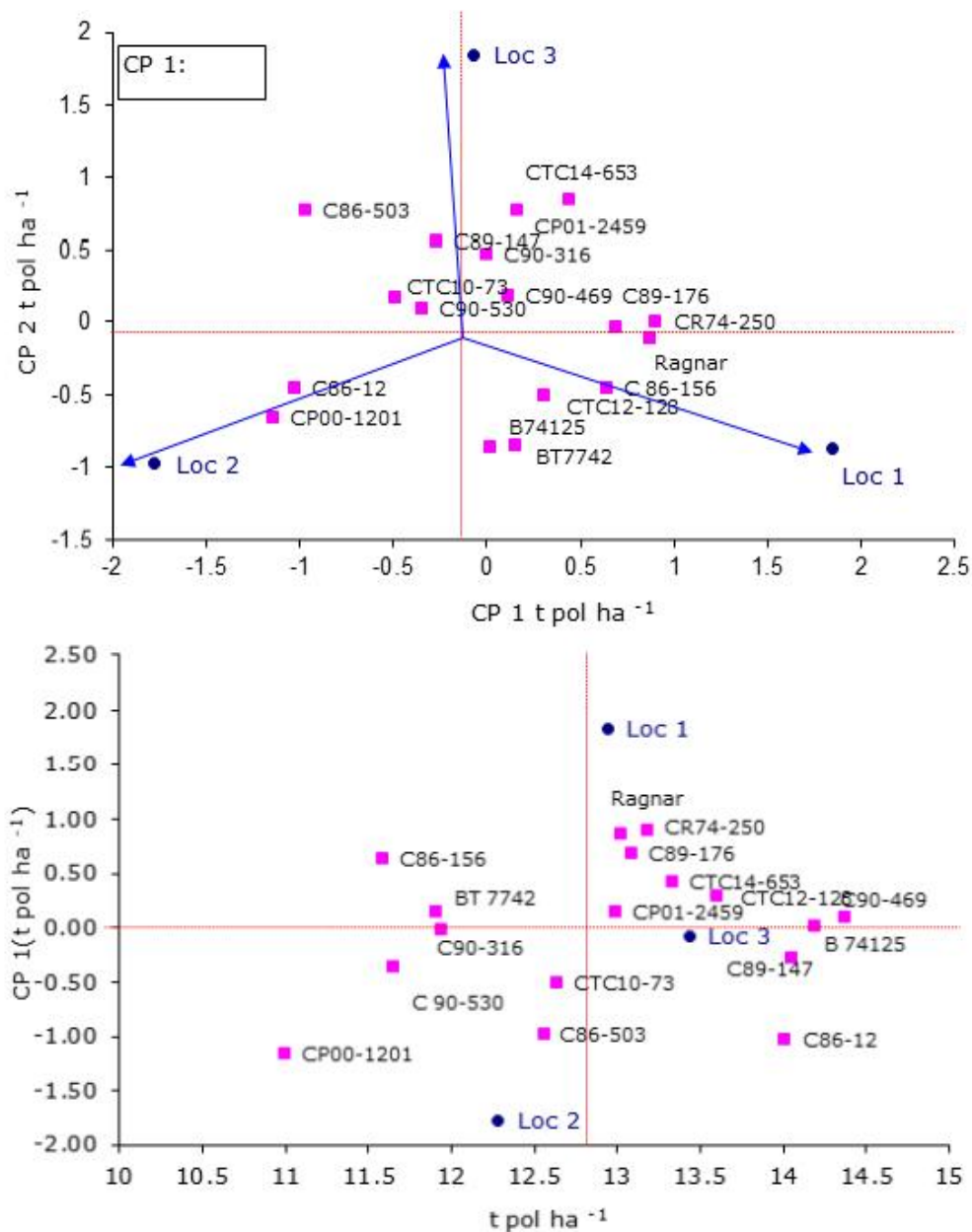


Figura 3. Representación bidimensional de los efectos principales de genotipos y ambientes del modelo AMMI para la variable t pol ha⁻¹ en cultivares de caña de azúcar analizados en diferentes sitios de prueba (localidades) en el ingenio La Estrella.

147' y 'CP01-2459'. En la localidad 1 los cultivares 'CR74-250', 'Ragnar' y 'C89-176', tuvieron mejor adaptación, 'C86-12' y 'CP00-1201' a la localidad 2, mientras que 'CTC14-653' lo fue a la 3; todas con una producción de azúcar ha⁻¹ superior a la media del carácter.

Los resultados alcanzados en las tres variables estudiadas ratifican la existencia de interacción genotipo-ambiente en la compañía La Estrella y la necesidad de hacer un uso eficiente de los cultivares con adaptabilidad general y específica para incrementar la producción azucarera. El procedimiento metodológico desarrollado puede ser aplicado tanto en institutos de investigación de cultivos agrícolas como en los ingenios azucareros que desarrollan el proceso de selección de cultivares.

CONCLUSIONES

A partir de la evaluación de la respuesta de 17 cultivares de caña de azúcar en la cepa de retoño en la compañía azucarera La Estrella, los cultivares 'C90-469', 'CTC12-128', 'CP01-2459' y 'C89-147' son estables y adaptados en la producción de agroazucarera. La producción de azúcar ha⁻¹ fue similar al control 'B74125' y superior al resto de los controles, por lo que se recomiendan para su validación en las áreas comerciales. La existencia de interacción genotipo-ambiente en la compañía azucarera La Estrella S.A sugiere la necesidad de una conducción eficiente de los cultivares con adaptabilidad general y específica para incrementar la producción azucarera.

Conflicto de interés

Los autores no declaran conflicto de intereses.

REFERENCIAS

Anderson RL, Bancroft L (1952) Statistical theory in research. Ed Mc Graw-Hill Book, Co, New Cork

Annicchiarico P (2002) Defining adaptation strategies and yield stability targets in breeding programmes. En: Kang MS (ed). Quantitative genetics, genomics, and plant breeding, pp. 365-383. CABI, Wallingford

Baker RJ (1990) Crossover genotype-environmental interaction in spring wheat. En:

Kang MS (ed). Genotype-by-Environment Interaction and Plant Breeding, pp. 42-51. Louisiana State University Agricultural Center, Baton Rouge, Louisiana

Balzarini M, Bruno C, Arroyo A (2004) Análisis de ensayos agrícolas multi-ambientales, Ejemplos con Info-Gen, Estadística y Biometría. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba

Becker WA (1984) Manual of Quantitative Genetics 4th ed. Academic Enterprises, Washington; ISBN: 0-93199-00-9

Cochran WG, Cox GM (1965) Experimental Designs. John Wiley and Son Inc, New York

Cortegaza PL, Menéndez A (2010) Clasificación de los suelos agrícolas del ingenio Ofelina Memorias de Investigaciones Volumen 1-3. Gerencia de Campo, Aguadulce Panamá

Delgado I, Núñez D, Jorge H, Guillén S, Díaz FR, Gómez JR, O Suárez, Montes de Oca JL (2016) Evaluación de cultivares de caña de azúcar de madurez temprana, para el inicio de la zafra azucarera en suelos sialitizados no cálcicos. Revista Centro Agrícola 43(2): 5-13

Delgado I (2019) Contribución al conocimiento científico y metodológico para la recomendación de cultivares de caña de azúcar (*Saccharum* spp.) en Cuba. Tesis de Opción al Grado Científico de Doctor en Ciencias Agrícolas, Universidad Agraria de La Habana, La Habana, Cuba

Falconer DS (1970) Introducción a la Genética Cuantitativa. CECSA, México

Gauch HG (2006) Statistical analysis of yield trials by AMMI and GGE. Crop Sci 46: 1488-1500

Gauch HG (2013) A simple protocol for AMMI analysis of yield trials. Crop Science 53: 1860-1869

González R (2019) Variedades de Caña de Azúcar Cultivadas en Cuba. Cronología, Legislación, Metodologías y Conceptos Relacionados. Instituto Cubano de Investigaciones de Derivados de La Caña de Azúcar (ICIDCA), La Habana; ISBN: 978-959-7165-58-3

- Hogarth DM (1968) A review of quantitative genetics in plant breeding with particular reference to sugar cane. *Journal of the Aust J Agric Res* 22: 93-182
- Jorge H, Jorge I, Mesa JM, Bernal N (2011) Normas y Procedimientos del Programa de Mejoramiento Genético de la Caña de Azúcar en Cuba, PUBLINICA, La Habana
- Jorge H, Delgado I, Vera A, Gómez JR, Díaz FR, Céspedes A, Pérez JC, Santos JC, Guillén S (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
- Jorge H, Delgado I, González A, Vera A, Cornide MT, Cabrera L, Díaz FR, Gómez JR, Suárez O, Torres I, Valladares F, Cruz R, Céspedes A, Puchades Y (2017) Potencial azucarero de un grupo de cultivares de caña de azúcar en Cuba. *Revista ICIDCA* 51(2): 59-66
- Jorge H, Menéndez A, González A, Delgado I, Gómez JR (2018a) Evaluación de genotipos de caña de azúcar en diferentes ambientes en el ingenio Ofelina, República de Panamá. *Centro Agrícola* 45(1): 24-33
- Jorge H, Menéndez A, Atencio R, Delgado I (2018b) Selección de genotipos de caña de azúcares en áreas con estrés ambiental. *Centro Agrícola* 45(3): 66-72
- Parvizi M (2013) Bases Genéticas para la Selección de Poblaciones Clonales de la Caña de Azúcar (*Saccharum* spp.) bajo diferentes condiciones ambientales de la provincia de Juzestán, Irán. Tesis de Opción al Grado Científico de Doctor en Ciencias Agrícolas. Universidad Agraria de La Habana, La Habana, Cuba
- Puchades Y, Rodríguez R, Arteches J, Bernal N, Jorge H, Cornides MT (2011) Base Genética de los cultivares de caña de azúcar explotados comercialmente en Cuba entre 1965 y 2008. *Ciencias en su PC* 4: 71-87
- 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 en opción al grado de doctor en Ciencias Agrícolas, Universidad Agraria de La Habana, La Habana, Cuba
- Rodríguez R, Puchades Y, Abiche W, Rill S, Jorge H (2015) Estudio del rendimiento y modelación del período de madurez en nuevos cultivares de caña de azúcar. *Cultivos Tropicales* 36(4): 135-144
- Varela M, Castillo J (2005) Modelos con término multiplicativo. Aplicación en el análisis de la interacción Genotipo-Ambiente. *Rev Cultivos Tropicales* 26(3): 71-75
- Yan W, Tinker NA (2006) Biplot analysis of multi-environment trial data: Principles and applications. *Canadian Journal of Plant Science* 86(3): 623-645

Recibido: 24-04-2019

Aceptado: 22-07-2019

Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial 4.0 Internacional (CC BY-NC 4.0) <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/> Está permitido su uso, distribución o reproducción citando la fuente original y autores.