

Respuesta de nuevos cultivares de caña de azúcar (*Saccharum* spp.) para el rendimiento azucarero, en diferentes momentos evaluativos

Irenaldo Delgado-Mora^{1*}, Delvis Arocha-Álvarez², José Ramón Gómez-Pérez¹ y Héctor Jorge-Suarez³

1. Estación Territorial de Investigaciones de la Caña de Azúcar (ETICA). Grupo Empresarial AZCUBA. Autopista Nacional, km 246. Ranchuelo, Villa Clara, Cuba.

* ireinaldo.delgado@inicavc.azcuba.cu

2. Facultad de Ciencias Agropecuarias Carlos Rafael Rodríguez, Cienfuegos, Cuba.

3. Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar (INICA). Grupo Empresarial AZCUBA. Carretera al CAI Martínez Prieto, km 2 ½. Boyeros, La Habana, Cuba.

RESUMEN

Cuando los cultivares presentan una respuesta diferencial a las diversas condiciones edafoclimáticas, es necesario disponer de genotipos con altos rendimientos estables, que permitan al genotipo ajustar su capacidad productiva a la más amplia variación ambiental. Bajo estas nuevas premisas se desarrolló este estudio en el Bloque experimental de Espartaco; perteneciente a la Estación Territorial de Investigaciones de la Caña de Azúcar (ETICA), de Villa Clara, con el objetivo de evaluar la respuesta del rendimiento azucarero de nuevos cultivares de caña de azúcar, en diferentes momentos de cosecha, en los suelos sialitizados no cálcicos de la provincia de Cienfuegos. Entre los meses de septiembre y octubre del 2009, fue plantado un experimento con 10 cultivares, en bloques completamente al azar, con tres repeticiones. La variable evaluada fue el porcentaje de pol en caña. Se definió el ambiente del mes de diciembre como el más discriminatorio y representativo. La evaluación mensual de los cultivares confirmó que la mayoría de los genotipos presentó alta inestabilidad en el rendimiento, solo dos (C89-148 y C86-251) fueron los más estables. En el período de noviembre y diciembre, los cultivares C89-250, C86-251 y C89-176 alcanzaron los máximos valores de pol en caña; sin embargo, a partir del mes de enero, existió similitud en su rendimiento, el más destacado fue C89-176; así como C86-165 el de menor valor. Se recomienda, desde el punto de vista económico, no cosechar los cultivares C86-165, C86-56, C89-148 y C90-469 en la etapa inicial de la zafra, por presentar valores de pol (1.35 porcentuales) inferiores al testigo comercial C86-12.

Palabras clave: evaluación mensual, maduración, adaptación general y específica.

ABSTRACT

When cultivars present a differential response to various edaphoclimatic conditions, it is necessary to have genotypes with high and stable yields, which allow the genotype to adjust its productive capacity to the widest environmental variation. Under these new premises, this study was developed in the Espartaco Experimental Block; belonging to the Territorial Research Station of Villa Clara, with the objective of evaluating the response of the sugar yield of new sugarcane cultivars at different harvest times in non-calcium sialitized soils of the province of Cienfuegos. Between the months of September to October 2009, an experiment was planted with 10 cultivars, in completely randomized blocks with three repetitions. The variable evaluated was the percentage of pol in sugarcane. It was obtained as the environment December was defined as the most discriminatory and representative. The monthly evaluation of the cultivars confirmed that most of the genotypes present high yield instability, only two (C89-148 and C86-251) are the most stable. In the period of November and December the cultivars C89-250, C86-251 and C89-176 reach the maximum values of pol; However, as of January, there was

similarity in the yield of the cultivars, the most prominent being C89-176, as well as C86-165 the lowest values. It is economically recommended not to harvest cultivars C86-165, C86-56, C89-148 and C90-469 in the initial stage of the harvest, as they present much lower pol values (1.35) than the commercial control C86-12.

Key words: monthly evaluation, maturation, general and specific adaptation.

INTRODUCCIÓN

La caña de azúcar es originaria de Nueva Guinea, pertenece al género *Saccharum*, del que se reconocen cinco especies: *S. spontaneum*, *S. robustum*, *S. sinense*, *S. barberi* y *S. officinarum*. Esta última fue la especie más utilizada, por mucho tiempo, para el consumo humano directo y su origen se presume debido a la domesticación llevada a cabo por el hombre. Hasta principios del siglo XX, la industria azucarera dependió de las variedades de *S. officinarum* (1).

El azúcar constituye, hace cientos de años, uno de los componentes más importantes y universalmente utilizados en la dieta humana. Su importancia radica en su aporte energético a bajo costo, junto con su capacidad de endulzar. Se produce en diversas condiciones climáticas, prácticamente en todos los países del orbe (2).

El incremento en la productividad de azúcar requiere de la disponibilidad de cultivares de alta capacidad productiva, con elevados contenidos de esta. Este objetivo exige la utilización de distintas estrategias de manejo que permitan la expresión del potencial azucarero de las variedades extendidas. Gaikwad *et al.* (3), plantearon que cuando los cultivares presentan una respuesta diferencial a las diversas condiciones edafoclimáticas, es necesario disponer de genotipos con altos y estables rendimientos; asimismo, señalaron que la estabilidad permite al genotipo ajustar su capacidad productiva a la variación ambiental.

El programa cubano de mejoramiento genético garantiza que constantemente se estén incorporando a la producción nuevos individuos, para sustituir cultivares que van degenerando y comienzan a ser susceptibles a plagas y enfermedades (4 - 7). La selección de genotipos de alto contenido azucarero, que produzcan la mayor cantidad de azúcar por unidad de área, con un volumen mínimo de materia prima para procesar industrialmente, constituye objetivo de trabajo prioritario para muchos países productores de azúcar, empeñados en lograr mayores beneficios económicos en la explotación del cultivo (5 y 7).

Motivado por esta situación, el presente trabajo tiene como objetivo evaluar la respuesta de nuevos cultivares de caña de azúcar para el rendimiento azucarero, en diferentes momentos de cosecha, en los suelos sialitizados no cálcicos de la provincia de Cienfuegos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los estudios se desarrollaron sobre suelos sialitizados no cálcicos (cambisoles), en el Bloque experimental de Espartaco, Cienfuegos; perteneciente a la Estación Territorial de Investigaciones de la Caña de Azúcar (ETICA), en Villa Clara, según (8 y 9). Fue plantado un experimento en el período de septiembre a octubre de 2009, en bloques completamente al azar, con tres réplicas, en secano. El área de las parcelas es de 48 m², un largo de 7.5 m, por un ancho de 1.60 m, con cuatro surcos de ancho (10).

Se evaluaron 10 cultivares en total, que aparecen en la tabla 1, dos de los cuales fueron testigo por la madurez, C86-12 de maduración temprana-media y C323-68 de maduración tardía.

Los experimentos fueron cosechados entre noviembre de 2010 y mayo de 2011, en la cepa de caña planta con edades entre 13 y 19 meses, la variable evaluada fue el porcentaje de pol en caña (% pol en caña), según la metodología establecida por el INICA (10).

Tabla 1. Cultivares estudiados y sus progenitores

Nº	Cultivares	Progenitor femenino	Progenitor masculino
1	C323-68 (T)	B4362	C87-51
2	C86-12 (T)	Desconocido	
3	C86-156	C16-56	C87-51
4	C86-165	B42231	C227-59
5	C86-251	CP29-103	Co421
6	C86-56	NCo310	C187-68
7	C89-148	B6368	CP70-1143
8	C89-176	NCo310	C187-68
9	C89-250	Eros	Ja64-11
10	C90-469	C87-51	Ja60-5

(T)- Testigos.

Determinar la adaptabilidad y estabilidad fenotípica de nuevos cultivares de caña de azúcar, en un ambiente promedio

Comprobada la significación estadística de las interacciones de dos efectos principales fijos, se procedió a la determinación de la adaptabilidad y estabilidad de nuevos cultivares de caña de azúcar, en un ambiente promedio, a través del Modelo lineal tradicional (LM) de efectos fijos (Modelo I), mediante el programa *Infogen* (11); que se utiliza para procesar la información original, asumir la normalidad y obtener la matriz de dos entradas (genotipo x ambiente -GxA), sobre la que aplica el modelo multivariado de efectos principales de los genotipos, más efectos de la interacción genotipo-ambiente, también llamado como: Modelo lineal-bilineal de regresión de sitios (SREG: *Sites Regression model o biplots GGE*) (*Genotypic main effect plus Genotype-by-Environment interaction*) (12-15). Finalmente, se complementó la definición de los ambientes de prueba, con la determinación de su habilidad discriminatoria y representatividad.

Ahí se definen como ambientes los siete meses de evaluación en la cepa de caña planta (tabla 2) y como genotipos a los cultivares en estudio.

En este modelo, los efectos principales de los genotipos se envían al residual junto con la interacción genotipo-ambiente para modelarlo de forma multivariada, mediante el análisis de los componentes principales (15).

Se llamará modelo SREG de orden M a la expresión:

$$E(y_{ij}) = \mu + \beta_j + \varphi + e_{ij}$$

$$\varphi = y_{ij} - \mu - \beta_j = \sum_{m=1}^M \lambda_m u_{mi} v_{mj}$$

Donde: Y_{ij} : observación correspondiente a la combinación de niveles ij ; μ : media general, β_j : efecto del ambiente j ; φ : efecto del genotipo más la interacción del genotipo-ambiente; λ_m : corresponde al valor singular de orden m ; u_{mi} : coordenada i -ésima del vector singular asociado a λ_m ; v_{mj} : coordenada j -ésima del vector singular asociado a λ_m ; e_{ij} : residuo.

Tabla 2. Ambientes en estudio

Ambientes	Definición
C1M1	Cepa Caña planta en el mes de noviembre
C1M2	Cepa Caña planta en el mes de diciembre
C1M3	Cepa Caña planta en el mes de enero
C1M4	Cepa Caña planta en el mes de febrero
C1M5	Cepa Caña planta en el mes de marzo
C1M6	Cepa Caña planta en el mes de abril
C1M7	Cepa Caña planta en el mes de mayo

A partir de la descomposición en valores y vectores singulares del efecto del genotipo más la interacción del genotipo-ambiente (Φ) se obtiene la representación bidimensional (*biplots*) del Modelo de regresión de sitios. Estas representaciones se realizan al unir en un plano bidimensional los llamados marcadores de genotipos y ambientes. Estos marcadores se obtuvieron al multiplicar el valor singular λ a los resultados de los vectores de genotipos (μ_g) y ambientes (v_e), se utilizó para esto la escala simétrica ($\lambda^{0.5}u_g$ y $\lambda^{0.5}v_e$).

Los datos originales fueron comprobados para su ajuste a la normalidad, mediante la prueba de Bartlett, con su correspondiente Chi cuadrado.

Determinar el rendimiento azucarero de nuevos cultivares de la caña de azúcar, en diferentes momentos de las cosechas

Para determinar el rendimiento azucarero de nuevos cultivares de la caña de azúcar en diferentes momentos de las cosechas, se realizó la evaluación estadística de los resultados con un Anova simple, de efecto fijo para cada momento de la cosecha en la cepa evaluada, las variedades se consideraron como causa de variación y se utilizó la probabilidad de ($P < 0.05$) de no cometer error. Para esto, se tomaron como factores los genotipos, mediante el siguiente modelo:

$$Y_{ik} = \mu + G_i + e_{ik}$$

Donde: Y_{ik} . Es la observación k del genotipo i .

μ . Media general.

G_i . Efecto del i -ésimo genotipo.

e_{ik} . Error asociado a la k -ésima observación del i -ésimo genotipo.

La comparación de medias se realizó mediante Prueba múltiple de rango con dócima de Tukey ($P < 0.05$). Los datos originales fueron comprobados, para su ajuste a la normalidad, mediante Bartlett-test, con su correspondiente Chi cuadrado. Los paquetes estadísticos utilizados fueron: STATISTICA 10.0. sobre Windows e InfoGen versión 2016.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Determinación de la adaptabilidad y estabilidad fenotípica de nuevos cultivares de caña de azúcar, en un ambiente promedio

Al evaluar el Análisis de varianza del bifactorial variedad*ambiente (tabla 3), se pudo constatar la diferencia estadística significativa que existe entre cada uno de los efectos principales y su interacción. Por ello, se realizó la representación gráfica de esa interacción, a través del Modelo lineal-bilineal de regresión de sitios (SREG) o GGE-biplot (figura 1), uno de los más utilizados en estudios de IGA en la actualidad (16-25).

Tabla 3. Análisis de la varianza del bifactorial variedad*mes de evaluación (SC tipo III)

Fuentes de variación	Cuadrado medio	F	p-valor
Cultivares (VAR)	4.12	136.35	<0.0001
Mes de evaluación (MEval)	72.13	2386.61	<0.0001
VAR*MEval	1.6	52.87	<0.0001
Error	0.03		

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV (%)
PPC	210	0.99	0.99	0.95

Evaluación de ambientes en la variable (PPC) en el Biplot GGE

En la figura 1, se muestra el gráfico del modelo biplot GGE, en el plano de las dos primeras componentes (CP1 y CP2), que explican el 79,7 % de las variaciones fenotípicas totales, en que los cultivares C89-250, C86-12, C86-251, C89-176, C90-469 y C323-68 forman el vértice del polígono, los cuales son de comportamiento extremo, por ser los más alejados del origen del gráfico.

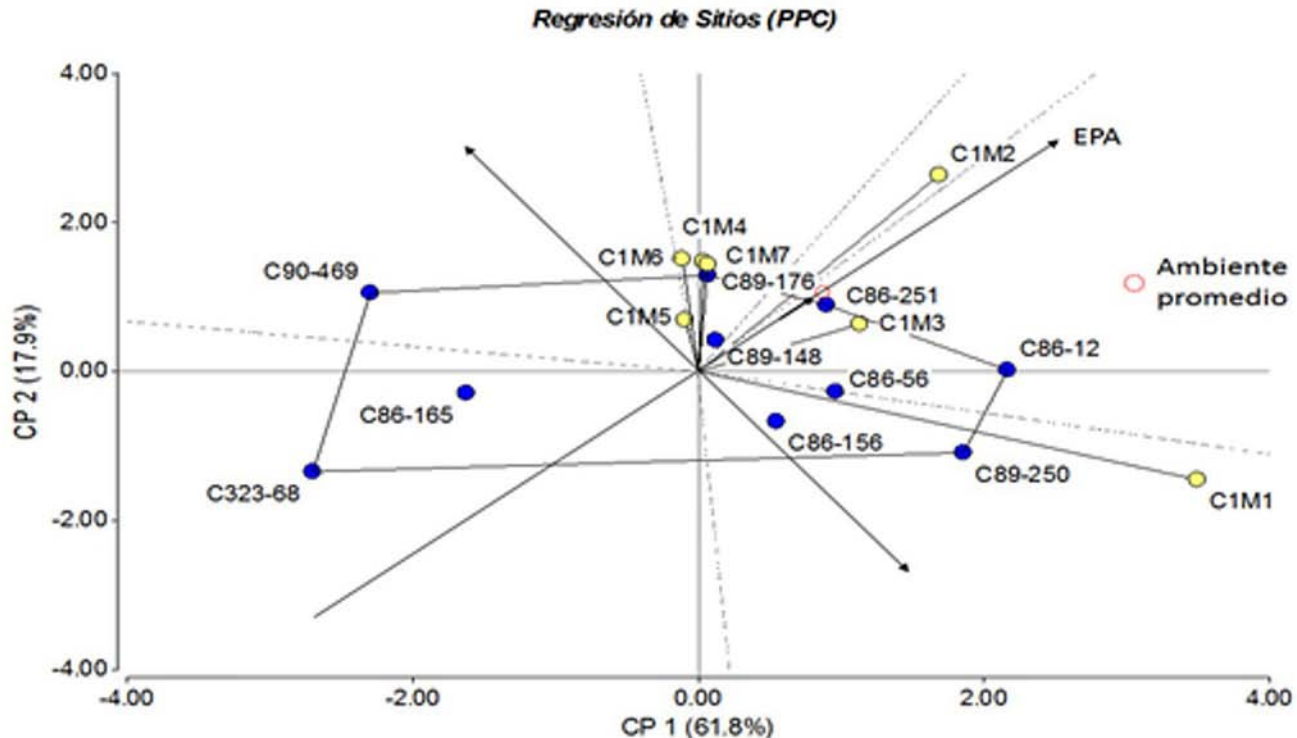


Figura 1. Habilidad discriminatoria y representatividad de los ambientes de prueba, mediante los vectores ambientales resultantes del análisis GGE biplot.

Los ambientes de febrero, marzo, abril y mayo (C1M4, C1M5, C1M6 y C1M7 respectivamente), forman un ángulo agudo entre ellos; es decir, presentan correlación positiva, así como estos con los ambientes C1M2 (diciembre) y C1M3 (enero), pero menos pronunciado. Rodríguez (26), en un estudio de cultivares en similares ambientes, obtuvo una explicación de 69,5 % de la variación fenotípica total en el plano de las dos primeras componentes (CP1 y CP2), en que los ambientes de marzo, abril y mayo forman un ángulo agudo con el mes de febrero.

Sin embargo, en la figura 1 se observa que C1M1 (noviembre) forma un ángulo obtuso con los ambientes C1M4, C1M5, C1M6 y C1M7; es decir, muestra correlación negativa; cuando aumenta uno, puede disminuir el otro o viceversa; mientras que con los demás ambientes presenta un ángulo agudo ($<90^\circ$) correlación positiva (14 y 27).

Los ambientes C1M1 (noviembre) y C1M2 (diciembre) presentan largas longitudes en sus vectores, lo cual indica que son ambientes informativos y discriminativos, útiles para seleccionar genotipos con adaptación específica e inestable, y coincide con lo informado por (25) en un estudio de ambientes de prueba, conformados por cuatro localidades y dos cepas; sin embargo, un ambiente de prueba que no discrimine ofrece poca información sobre los genotipos (15). Por lo que es una necesidad del mejoramiento genético y del sector azucarero del país, obtener genotipos con altos rendimientos para esta etapa de inicio de la zafra.

El ambiente C1M2 es el más representativo, formando un ángulo pequeño (agudo), con respecto al eje promedio ambiental (EPA) (figura 7); además, es el mes más cercano al ambiente promedio;

pero, C1M1 es el más alejado, es decir, el menos representativo. En resumen, el ambiente C1M2 es el más discriminatorio y representativo a la vez. Yan y Tinker (15) expresan que dentro de un mega-ambiente, el ambiente de prueba ideal debe ser discriminatorio y representativo de ese ambiente; o sea, son buenos para seleccionar genotipos de adaptación amplia.

Yan y Tinker (15) definen que los puntos situados en el eje del promedio ambiental en dirección (positiva) más representativa, cuya distancia del origen del biplot, es igual al vector mayor de todos los ambientes, es el vector más informativo. Aquel ambiente que esté más cercano a dicho punto, es el más recomendable. Camargo *et al.* (28) identificaron ambientes representativos y discriminatorios para seleccionar genotipos de arroz, mediante el Biplot GGE y lograr separar las localidades más discriminatorias y las más representativas, para priorizar la investigación en aquellas localidades más apropiadas e identificar genotipos superiores.

Comportamiento medio y estabilidad de los genotipos

La figura 2, muestra el biplot GGE con el comportamiento y estabilidad de los genotipos, basado en el eje promedio ambiental; la línea de una flecha sola está en la abscisa del eje promedio ambiental, este punto tiene alto rendimiento medioambiental y la línea de doble flecha, que está en la ordenada del gráfico, tiene este punto de gran variabilidad (estabilidad pobre) en una u otra dirección (15). Por ello C86-12 posee el rendimiento más alto; sin embargo, es inestable; es decir, presenta alto rendimiento en este ambiente, pero bajo en otro; así como C323-68, que posee los más bajos valores de rendimiento medio y alta inestabilidad.

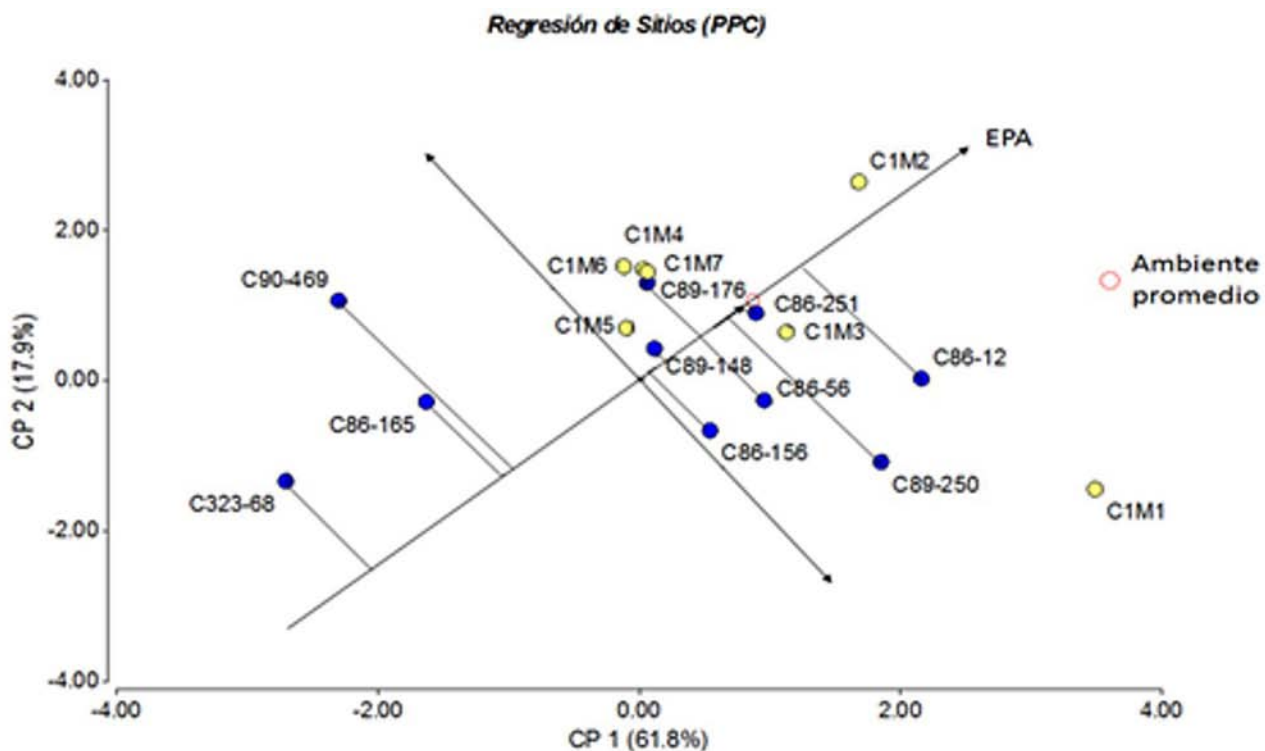


Figura 2. Comportamiento y estabilidad de los genotipos, basado en el eje de coordenadas del ambiente promedio, mediante el análisis GGE biplot.

La mayoría de los genotipos evaluados presenta alta inestabilidad del rendimiento, solo dos son estables. El genotipo C86-251 es de alto rendimiento y el más estable, junto a C89-148, aunque con menor rendimiento que éste último. Mientras que solo tres cultivares poseen valores por debajo de la media genotípica: C323-68, C86-165 y C90-469. Rodríguez (26), en estudios realizados en similares tipos de suelo, pero con diferentes cultivares, expresó que C88-380 es de alto rendimiento

y muy estable, mientras que C91-115 es de bajo rendimiento, pero estable; sin embargo, C91-367 tiene mayor rendimiento que este, pero es muy inestable. Shitahun *et al.* (29), destacan resultados similares en la evaluación de la estabilidad de genotipos de caña de azúcar en tres tipos de suelos.

Determinación del rendimiento azucarero de nuevos cultivares de la caña de azúcar, en diferentes momentos de las cosechas

Al observar el Análisis de varianza de clasificación simple de los diferentes meses de evaluación (tabla 4), se aprecian diferencias estadísticas significativas entre las variedades. Por ello, se desarrolló la comparación de medias de las variedades y se identificaron las más destacadas por cada mes.

Tabla 4. Análisis de la varianza simple de los diferentes meses de evaluación

Meses	noviembre			diciembre			enero			febrero		
Fuentes variación	CM	F	p-valor	CM	F	p-valor	CM	F	p-valor	CM	F	p-valor
Variedades	6.71	209.6	<0.0001	2.8	82.5	<0.0001	1.2	57	<0.0001	0.75	49.98	<0.0001
Error	0.03			0			0			0.02		
Meses	marzo			abril			mayo					
Fuentes variación	CM	F	p-valor	CM	F	p-valor	CM	F	p-valor			
Variedades	0.89	19.8	<0.0001	0.7	43.1	<0.0001	0.8	15	<0.0001			
Error	0.05			0			0.1					

CM: Cuadrado medio.

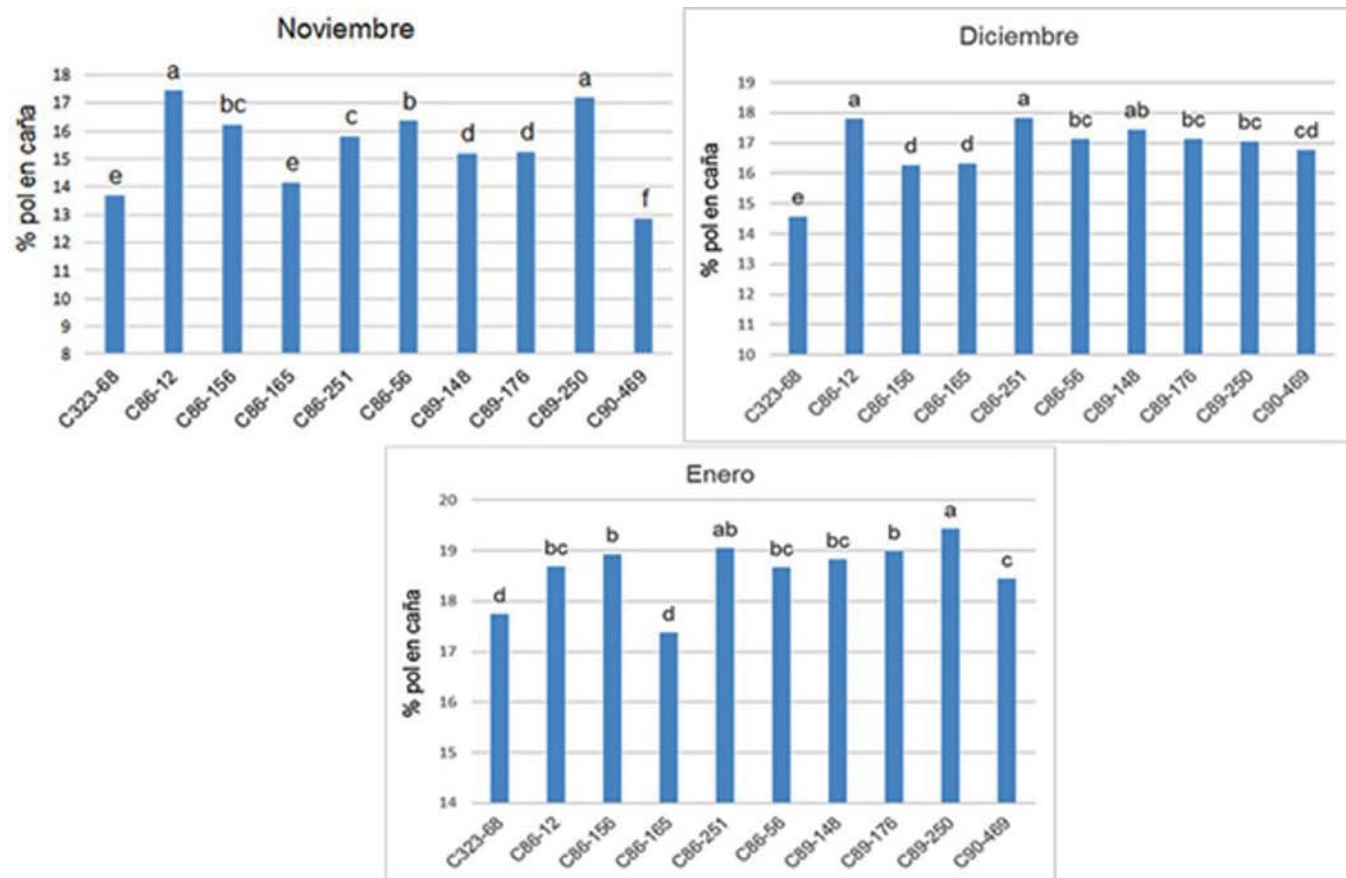


Figura 3. Respuesta de cultivares en la variable porcentaje de pol en caña, en los meses de noviembre, diciembre y enero.

En el mes de noviembre, el cultivar C89-250 alcanzó los resultados más destacados junto al testigo de madurez temprana C86-12 (figura 3); sin embargo, el otro testigo C323-68 de maduración

tardía posee resultados negativos, lo que es de esperar para este cultivar, por su madurez; no obstante, C86-165 y C90-469 muestran valores similares e inferiores a este cultivar, por lo que no se recomienda su utilización en esta etapa. En el mes de diciembre, los cultivares C86-251 y C89-176 alcanzaron los resultados más destacados junto al testigo de madurez temprana C86-12 (figura 3), lo que demuestra las potencialidades de estos cultivares para el inicio de la zafra; no obstante, el otro testigo C323-68 de maduración tardía, mantuvo los más bajos valores en esta etapa.

Para el mes de enero, la mayoría de los cultivares alcanzaron valores similares o superiores al testigo C86-12, que ofrece buena oportunidad en este período con varios cultivares, con grandes potencialidades productivas y mayor variabilidad y los más destacados fueron: C89-250 y C86-251 (figura 5); sin embargo, el otro testigo C323-68 de maduración tardía y C86-165 mostraron los más bajos valores en esta etapa. Debe destacarse, además, que C86-165 no presenta buenos resultados industriales al inicio de la contienda azucarera.

En el mes de febrero, existió una similitud del rendimiento de los cultivares en estudio, pues la mayoría de estos alcanzó valores similares a los dos testigos; pero, el cultivar C86-251 alcanzó los mejores resultados, seguido por C89-148 y C89-176 (figura 4). Delgado *et al.* (7), obtuvieron valores de rendimientos muy parejos en esta misma etapa, en un grupo de cultivares estudiados, en ambas cepas.

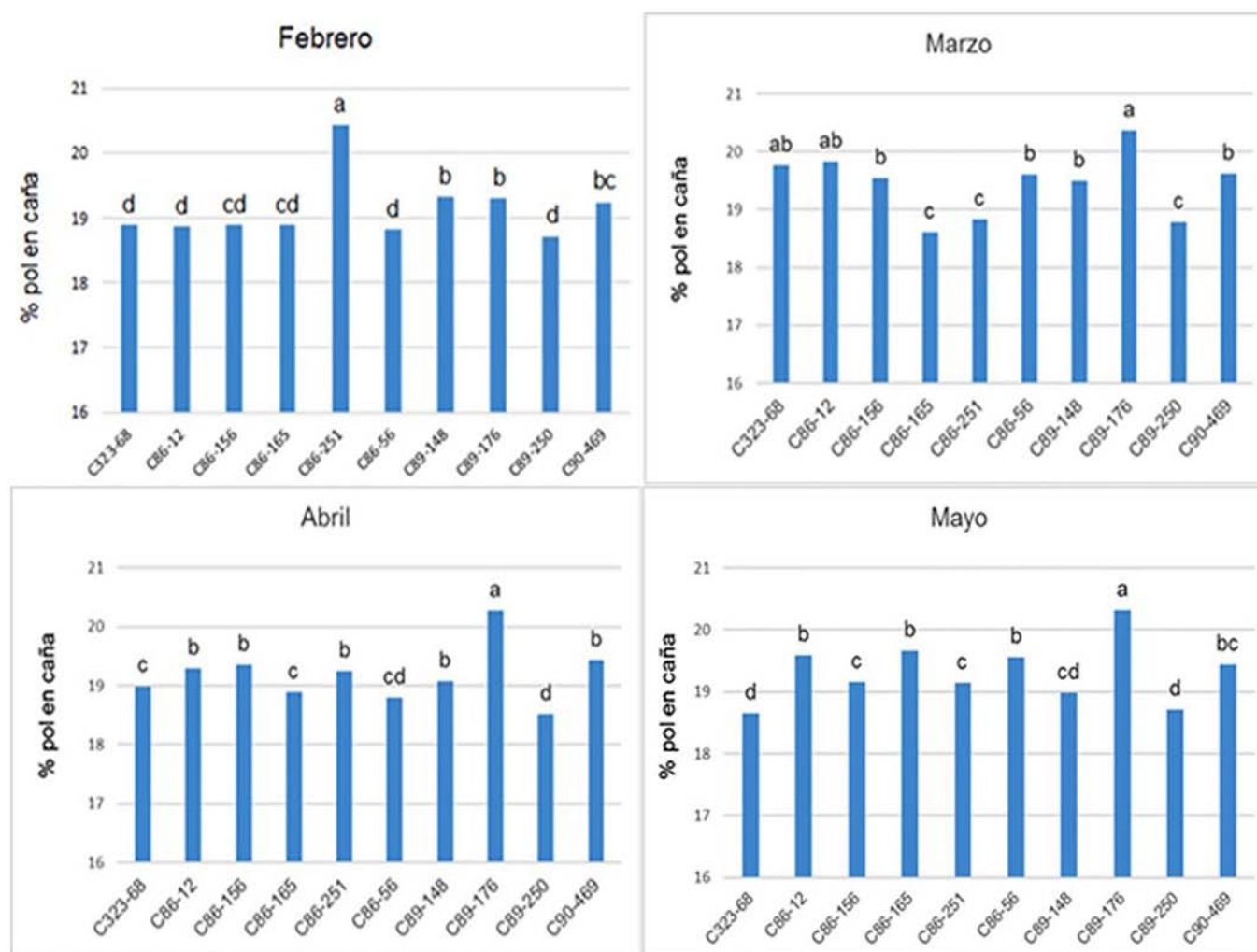


Figura 4. Respuesta de cultivares en la variable porcentaje de pol en caña, en los meses de febrero, marzo, abril y mayo.

En el mes de marzo, el cultivar C89-176 mostró valores similares a los dos testigos y, estos últimos a su vez, a cuatro genotipos más. No obstante, C86-165, C86-251 y C89-250 presentaron los resultados más negativos en este mes (figura 4). En el mes de abril, el cultivar C89-176 mantuvo los resultados alcanzados en el mes de febrero, superiores a los demás; sin embargo, otros cuatro genotipos (C90-469, C89-148, C86-251, C86-156) lograron valores estadísticos similares al testigo C86-12. Es de destacar en esta etapa de la producción cañera que la mayoría de los cultivares en estudio mostraron valores superiores al testigo C323-68; no obstante, similar a este se encuentran C86-165 y C86-56.

En el mes de mayo, en el período final de la zafra, el cultivar C89-176 alcanzó los resultados más alentadores en esta etapa, superior a los otros; sin embargo, otros tres genotipos (C90-469, C86-56 y C86-165) lograron valores estadísticos similares al testigo C86-12. Mientras que el testigo C323-68 mostró los valores más bajos, sin diferencias con C89-250 y C89-148 (figura 4). En sentido general se pudo observar que existió mayor variabilidad de los cultivares en el período de noviembre a enero ya que, desde febrero y hasta el final, fue menor la diferencia entre ellos.

CONCLUSIONES

1. Con el empleo del modelo de regresión por sitios (SREG) y el biplot GGE, se pudieron evaluar y seleccionar cultivares de adaptación general y específicos para un ambiente de prueba promedio. También, se definió el ambiente C1M2 (diciembre) como el más discriminatorio y representativo a la vez
2. La evaluación mensual de los cultivares confirmó los análisis realizados por el Modelo de regresión por sitios (SREG) y el biplot GGE, pues la mayoría de los genotipos presentaron alta inestabilidad del rendimiento y mostraron con más estabilidad a C89-148, C86-251 y C89-176.
3. En el período de noviembre y diciembre C89-250, C86-251 y C89-176 alcanzaron los máximos valores de porcentaje de pol en caña; sin embargo, a partir del mes de enero existió mayor similitud en el rendimiento de los cultivares, el más destacado fue C89-176, así como C86-165 el de menor valor.

RECOMENDACIONES

1. Evaluar los cultivares en estudio en la cepa de retoño, para una confirmación integral de cada uno, así como de los ambientes.
2. Desarrollar similar estudio en diferentes tipos de suelos del territorio.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. González RM. (2019). *Variedades de caña de azúcar cultivadas en Cuba. Cronología, legislación, metodologías y conceptos relacionados*. Editorial ICIDCA, La Habana, Cuba. Primera edición. ISBN: 978-959-7165-58-3. 216pp.
2. Pereira, Laís F.M.; Vilma M. Ferreira; N.G. de Oliveira; P. L.V.S. Sarmiento; L. Endres and I. Teodoro. 2017. Sugars levels of four sugarcane genotypes in different stem portions during the maturation phase. *Anais da Academia Brasileira de Ciências* (2017) 89(2): 1231-1242. Printed version ISSN 0001-3765 / Online version ISSN 1678-2690.

3. Gaikwad, D. D., Rathod, B. G. and Gosavi, S. R. (2014). Genotype x environment interaction and adaptability for productive traits in sugarcane. *International Journal of Current Research* Vol. 6, Issue, 02, pp.5220-5224, February, 2014.
4. López, E. (1986). 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 en las provincias de Camagüey y Ciego de Avila. Tesis de doctorado en Ciencias Agrícolas no publicada. Camagüey, Cuba. Ministerio de Educación Superior. Universidad Agraria de la Habana. 198 p.
5. Delgado, I. (2008). Manejo Sostenible de variedades de caña de azúcar en Cuba. Tesis de maestría no publicada. UCLV.
6. Delgado I, Jorge H, García H, Bernal N, Díaz F.R, Bernal A, Gómez JR, Aday O, González H, Buedo M, Reyes S, Núñez D, Barroso J y Machado LF. (2012). Potencialidades de familias de variedades para diferentes períodos de zafras en Cuba. *Revista Cultivos Tropicales*, vol. 33, no. 3, p. 5-14 julio-septiembre.
7. Delgado Mora, I. Dunia Nuñez Jaramillo, H. Suarez, S. Guillén Sosa, F. R. Díaz Mujica, J. R. Gómez Pérez, O. Suárez Benitez, J. L. Montes de Oca Suarez. (2016). Evaluación de cultivares de caña de azúcar de madurez temprana, para el inicio de la zafra azucarera en suelos sialitizados no cálcicos. *Centro Agrícola*, 43 (2): 5-13; abril-junio. ISSN papel: 0253-5785 ISSN on line: 2072-2001 CE: 6015 CF: cag012162070.
8. Hernández; A., J. Pérez, O. Ortega, L. Avila, A. Cárdenas, A. Marrero y N. Companioni. (1975). II Clasificación genética de los suelos de Cuba. *Revista Agricultura*. VIII (1): 47-69.
9. Hernández A, Pérez JM, Bosch D y Rivero L. (1999). Nueva versión de clasificación genética de los suelos de Cuba. Instituto de Suelos. *AGROINFOR*, 64 pp. ISBN: 959-246-022-1.
10. Jorge, H.; González, R.; Casas, M. y Jorge, I. (2011). *Normas y Procedimientos del Programa de Mejoramiento Genético de la Caña de Azúcar en Cuba*. La Habana, Cuba, PUBLINICA. 308 p.
11. Balzarini M y Di Rienzo JA. (2016). InfoGen versión 2016. FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.info-gen.com.ar>.
12. Gabriel KR. (1971). The biplot graphic display of matrices with application to principal component analysis. *Biometrika* 58, 453-467.
13. Crossa J y Cornelius PL. (1997). Sites regression and shifted multiplicative model clustering of cultivar trial sites under heterogeneity of error variances. *Crop Sci.* 37: 406-415.
14. Yan, W., Hunt, L.A.; Sheng, Q. and Szlavniks. Z. 2000. Cultivar evaluation and mega-environment investigation based on the GGE biplot. *Crop Sci.* 40: 597-605.
15. Yan W y Tinker NA. (2006). Biplot analysis of mulit-environment trial data: Principles and applications. *Canadian Journal of Plant Science*, pp. 623-645.
16. Chavanne ER, Ostengo S, García MB y Cuenya MI. (2007). Evaluación del comportamiento productivo de cultivares de caña de azúcar (*Saccharum* spp.) a través de diferentes ambientes en Tucumán, aplicando la técnica estadística "GGE biplot". *Rev. Ind. y Agríc.* 84 (2): 19-24.
17. Queme JL, Orozco H y Melgar M. (2010). GGE Biplot analysis used to evaluate cane yield of sugarcane (*Saccharum* spp.) cultivars across sites and crop cycles. En: Proc. ISSCT Congress, 27, Veracruz, Mexico, 2010, pp. 584-590.
18. Nassir AL y Ariyo OJ. (2011). Genotype x Environment Interaction and Yield-Stability Analyses of Rice Grown in Tropical Inland Swamp. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 39(1), 220-225.
19. 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 de doctorado en Ciencias Agrícolas no publicada. INICA, La Habana, Cuba. 2012, 100 p.
20. Nassir AL, Alawode YO y Pertanika J. (2016). Stability Analysis of Panicle and Grain Traits of Rainfed Upland Rice in Two Tropical Ecologies of Nigeria. *Tropical Agricultural Science. Trop. Agric. Sci.* 39 (4): 483 - 494.
21. Cherinet A, Abebe Worku, Molla Mekonnen, Tazebachew Asres, Desalew Fentie, Esmelealem Mihiretu and Jemal Esmael. (2016). GGE Stability Analysis of Seed Yield in Sunflower Genotypes (*Helianthus annuus* L.) in Western Amhara Region, Ethiopia. *International Journal of Plant Breeding and Genetics. Int. J. Plant Breed. Genet.*, 10 (2): 104-109, 2016.
22. Branco LC, Damasceno-Silva KJ, de Moura Rocha M y Oliveira GC. (2016). Evolution of methodology for the study of adaptability and stability in cultivated species. *Vol. 11(12), pp. 990-1000*, 24 March, DOI: 10.5897/AJAR2015.10596 Article Number: 4A3B10257666 ISSN 1991-637X.
23. Kipkorir J, Kimutai E, Odongo J, Wanjiku V, Kinyoro J, Owuoche J, Oyier M, y Machio A. (2016). Adaptability and Stability Study of Selected Sweet Sorghum Genotypes for Ethanol Production under Different Environments Using AMMI Analysis and GGE Biplots. *The Scientific World Journal*. Hindawi Publishing Corporation Scientific World Journal Volume, Article ID 4060857, 14 pages <http://dx.doi.org/10.1155/2016/4060857>.
24. Santos A, Ceccon G, Teodoro PE, Correa AM, Rita de Cássia F, da Silva J F, Batista V. (2016). Adaptability and stability of erect cowpea genotypes via REML/BLUP and GGE Biplot. *Bragantia, Campinas*, v. 75, n. 3, p.299-306.
25. Delgado I, Jorge H, Pérez L y Cornide MT. (2019). Análisis de la interacción genotipo ambiente en diferentes condiciones edafoclimáticas en Cuba mediante el GGE biplots. *Revista ICIDCA. Vol 53. No. 1. 2019*.
26. Rodríguez S. (2018). Respuesta de cultivares de caña de azúcar (*Saccharum spp.*) en diferentes períodos de evaluación en la provincia de Cienfuegos. Tesis de de Ingeniera Agrónoma no publicada. Universidad Fructuoso Rodríguez. Cienfuegos.
27. Yan W, Hunt LA, Sheng Q y Szlavnic Z. (2000). Cultivar evaluation and mega-environment investigation based on the GGE biplot. *Crop Sci.* 40: 597-605.
28. Camargo I, Quirós E, Gordón R. (2011). Identificación de ambientes representativos y discriminatorios para seleccionar genotipos de arroz mediante el biplot GGE. *AGRONOMÍA MESOAMERICANA* 22(2):245-255. 2011 ISSN: 1021-7444
29. Shitahun Alemu, Hussein Mohammed & Feyissa Tadesse. (2017). Stability of sugarcane (*Saccharum Officinarum* L.) genotypes for sugar yield under three soil types. *Journal of Agricultural Science and Research (JASR)* Vol. 4, Issue 1, Jun 2017, 13-18 © TJPRC Pvt. Ltd.