



## Estabilidad fenotípica de nuevos cultivares de *Saccharum* spp. híbrido en ensayos multiambientales en Holguín

### Phenotypic stability of new sugar cane cultivars in multi-environmental trials in Holguín

 Yulexi Mendoza-Batista<sup>1\*</sup>,  Rubisel Cruz-Sarmiento<sup>1</sup>,  Reynaldo Rodríguez-Gross<sup>2</sup>,  
 Irene Expósito-Elizagaray<sup>3</sup>,  Yaquelin Puchades-Izaguirre<sup>2</sup>,  Arián Céspedes-Zayas<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Estación Provincial de Investigaciones de la Caña de Azúcar (EPICA), Holguín, Cuba.

<sup>2</sup>Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar (INICA), carretera CUJAE km 1½, Rancho Boyeros, La Habana, Cuba, CP 19390.

<sup>3</sup>Universidad de Granma, carretera Manzanillo, km 17, Bayamo, Granma, Cuba, CP 85 100.

**RESUMEN:** Para la realización de este trabajo se establecieron tres experimentos de campo en las Unidades Empresariales de Base “Loynaz Hechavarría”, “Fernando de Dios” y “López-Peña”, pertenecientes a la Empresa Azucarera Holguín, donde se emplearon 12 cultivares y dos testigos bajo condiciones de secano, durante el período octubre 2010 a marzo 2014; se evaluaron las variables de cosecha (porcentaje de pol en caña, toneladas de caña por hectárea y toneladas de pol por hectárea), con el objetivo de identificar los cultivares que presentan estabilidad fenotípica general en los diferentes ambientes en estudio. Se aplicaron métodos de análisis multivariados para evaluar genotipos, ambientes y la interacción genotipo-ambiente. El uso del modelo multivariado de efectos principales de los genotipos más los efectos de la interacción genotipo-ambiente (GGE biplot), del modelo de Regresión de Sitios (SREG) permitió identificar los cultivares de mejores rendimientos y con estabilidad general en todos los ambientes, los cuales fueron C92-524, C97-445 y C95-416. Estos cultivares presentaron, además, un comportamiento fitosanitario satisfactorio en condiciones naturales. Se recomienda la incorporación de los mismos a los proyectos de variedades de las Unidades Empresariales de Base de la Empresa Azucarera Holguín, donde fueron evaluados.

**Palabras clave:** interacción genotipo-ambiente, pol en caña, rendimiento.

**ABSTRACT:** For the realization of this work three experiments were established in the Base Business Units "Loynaz Hechavarría", "Fernando de Dios" and "Lopez-Peña", where 12 cultivars and two controls were evaluated under rainfed conditions, during October 2010-March 2014 period, they were evaluated the harvest variables (percentage of pol in cane, tons of cane per hectare and tons of pol per hectare), in order to identify cultivars that present general phenotypic stability in different environments in study. Multivariate analysis methods were used to evaluate genotypes, environments and genotype - environment interaction. Use of multivariate model of main effects of genotypes, plus effects of genotype-environment interaction (GEI biplot), from Site Regression Model (SREG) allowed to identify the cultivars the best yield and with general stability in all environments, which were C92-524, C97-445 and C95-416, which also presented a satisfactory phytosanitary behavior under natural conditions. Recommendation the incorporation of same to the varieties projects of Base Business Units of Holguin Sugar Company where they were evaluated.

**Key words:** pol in cane, yield, genotype-environment interaction.

\*Autor para correspondencia: [yulexi.mendoza@inica.h.azcuba.cu](mailto:yulexi.mendoza@inica.h.azcuba.cu); [yuleximb@yahoo.com](mailto:yuleximb@yahoo.com)

Recibido: 16/05/2019

Aceptado: 26/01/2021

Este artículo se encuentra bajo los términos de la licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial (CC BY-NC 4.0).  
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>



## INTRODUCCIÓN

En Cuba se han realizado numerosos estudios relacionados con la evaluación de genotipos en diferentes ambientes de producción y sus implicaciones en el mejoramiento de los rendimientos cañeros y azucareros; no obstante, el estudio de este aspecto en la provincia Holguín no ha sido abordado con amplitud en los últimos años, a pesar de los grandes cambios producidos en la industria azucarera cubana y el clima. Los resultados de estos estudios reiteran la importancia y significación de la interacción genotipo-ambiente, lo que apunta a la necesaria evaluación multiambiental de los cultivares durante el proceso de selección, fundamentalmente en las etapas finales, así como posterior a su liberación en áreas comerciales (1).

Sin embargo, el reordenamiento de la agroindustria azucarera en Cuba y, con ello, la reestructuración de la infraestructura para la investigación-desarrollo en este sector, motivaron un reordenamiento de las investigaciones y reducción de la red experimental y de 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).

El insuficiente conocimiento de la respuesta agroazucarera de los nuevos cultivares comerciales de caña de azúcar en localidades de la provincia Holguín en condiciones de secano, limita la adecuada selección, recomendación y manejo de estos en los ambientes de producción de la provincia, por lo que con este estudio se persigue evaluar la respuesta de los cultivares en estudio recomendados en los últimos años, bajo condiciones de secano en diferentes localidades de la provincia Holguín e identificar mediante el método de Regresión de Sitios los cultivares que presentan estabilidad fenotípica general para las tres variables evaluadas en las localidades en estudio.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Las localidades y los tipos de suelos donde se plantaron los experimentos se presentan en la [Tabla 1](#). La clasificación de los suelos se realizó según la Nueva Versión de la Clasificación Genética de los Suelos de Cuba (3). En octubre

de 2010, se estableció un experimento de campo en cada localidad y se evaluaron hasta marzo de 2014.

En la [Tabla 2](#) se muestran los 14 cultivares de caña de azúcar empleados en el estudio, incluyendo dos testigos, la mayoría de los cultivares fueron recomendados en los últimos años para otras zonas geográficas del país.

Para el montaje de los experimentos se utilizó el diseño de bloques al azar con tres repeticiones, con parcelas de 48 m<sup>2</sup>. Las evaluaciones se realizaron en las cepas de caña planta (P), primer retoño (1R) y segundo retoño (2R) a los 16, 13 y 12 meses de edad, respectivamente. Las variables de cosecha evaluadas fueron porcentaje de pol en caña (PPC); toneladas de caña por hectárea (TCH) y toneladas de pol por hectárea (TPH); se evaluó, además, el comportamiento fitopatológico ante la roya parda (*Puccinia melanocephala* H. and P. Sydow) y el carbón (*Sporisorium scitamineum* (Syd.) M. Piepenbr., M. Stoll & Oberw.) en condiciones naturales. Todos los experimentos fueron conducidos y evaluados, según está estipulado en las Normas y Procedimientos del Programa de Fitomejoramiento de la Caña de Azúcar en Cuba (4).

Se emplearon nueve ambientes, los mismos se refieren a la combinación de las localidades y años (cepas), combinación comúnmente empleada por diferentes autores (5,6) en estudios de este tipo en caña de azúcar. Los datos originales de las variables de cosecha, se evaluaron respecto a su normalidad y homogeneidad de varianza, mediante pruebas de Chí cuadrado y Bartlett-Box F. No fue necesario transformar los datos. Para el procesamiento estadístico de los datos se empleó el software Statistica v.8.

Se realizó un análisis de varianza factorial con modelo de efectos fijos para conocer si existía interacción genotipo-ambiente y aplicar análisis de estabilidad fenotípica a las variables de cosecha donde la interacción resultó significativa. Para esto se tomaron como factores los genotipos, localidades y cepas, de acuerdo con el modelo de Cochran y Cox (1965). Se calculó la contribución de cada una de las fuentes de variación a la varianza fenotípica total.

Para la estimación de la estabilidad, se utilizó el modelo multivariado de efectos principales de los genotipos, más efectos de la interacción genotipo-ambiente (GGE, por sus siglas en inglés), del modelo de Regresión de Sitios (SREG).

**Tabla 1.** Localidades y tipos de suelos donde se plantaron los experimentos.

UEB	Localidad	Tipo de suelo
"Loynaz Hechavarría" (LH)	UBPC Silva 1	Gley vértico crómico
"Fernando de Dios" (FD)	UBPC Santa Inés	Pardo vértico carbonatado
"López -Peña" (LP)	UBPC Rosell Cruz	Vertisol crómico gléyico en profundidad

Unidad Económica de Base (UEB) Unidad Base de Producción Cooperativa (UBPC)

**Tabla 2.** Cultivares de caña de azúcar empleados en el estudio.

No.	Cultivar	No.	Cultivar	No.	Cultivar	No.	Cultivar	No.	Testigos
1	C132-81	4	C86-56	7	C90-647	10	C92-524	13	C86-12
2	C86-156	5	C89-147	8	C91-356	11	C95-416	14	C86-503
3	C86-165	6	C90-530	9	C92-325	12	C97-445		

Para presentar el comportamiento medio y estabilidad de los genotipos en todos los ambientes se utilizó el biplot que muestra el ambiente promedio, que se obtiene mediante la media de las coordenadas de los ambientes (se representa mediante un pequeño círculo). La ordenada del ambiente promedio es la recta que pasa por el origen del biplot y es perpendicular al eje de las abscisas, esta línea con dos flechas indica mayor variabilidad (pobre estabilidad) en cualquier dirección (7).

Se utilizaron las informaciones existentes de las precipitaciones registradas por las redes pluviométricas del Instituto de Recursos Hidráulicos, ubicadas en cada localidad, durante el periodo en que se llevaron a cabo los estudios, así como las series históricas del periodo 1995-2013 de cada una de estas localidades.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados del análisis de varianza factorial (Tabla 3), mostraron que tanto los factores simples, como sus interacciones resultaron significativos ( $p \leq 0,05$ ), para las tres variables de cosecha (PPC, TCH, TPH), lo que significa que los genotipos mostraron diferentes patrones de comportamiento en las distintas cepas y localidades en estudio, confirmándose la existencia de interacción de los genotipos con el ambiente e indica, coincidiendo con lo planteado por otro autor (8), que será más efectivo seleccionar los genotipos de respuesta específica a cada ambiente de producción.

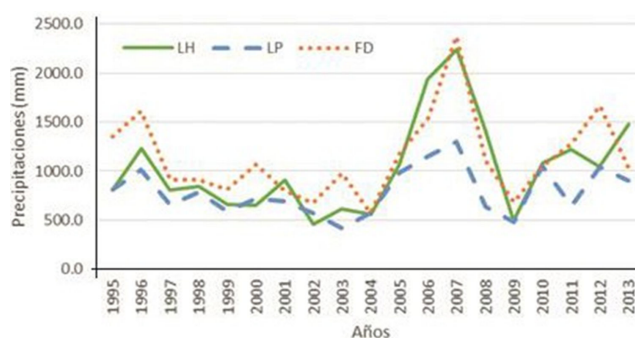
Al respecto, varios autores plantearon que cuando la interacción genotipo-ambiente está presente, el medio ambiente es uno de los factores más influyentes que afecta la selección del genotipo (9).

Además, se apreció el predominio de los componentes ambientales (porcentaje extraído de la suma de cuadrados de los factores ambientales como, localidad, cepa y su interacción) sobre la suma de cuadrados total, 49,3 % para el porcentaje de pol en caña, 65,1 % para las TCH y 68,6 % para las TPH, resultados similares fueron informados en estudios multiambientales en la provincia Santiago de Cuba (8).

En un estudio realizado en siete localidades de Venezuela, plantearon que el rendimiento promedio en caña fue significativamente afectado por los efectos ambientales y

genotípicos, los cuales explicaron el 41,16 y 40,67 % de la suma de cuadrados total, respectivamente (10).

En el contexto específico de las localidades en estudio, resulta muy importante que determinados cultivares se comporten favorablemente, pues estas zonas geográficas se caracterizan por presentar precipitaciones insuficientes y generalmente mal distribuidas. Al analizar el comportamiento histórico de las precipitaciones en el periodo 1995-2013 (Figura 1), se puede observar que en la localidad "López-Peña" durante todo el periodo, las precipitaciones anuales fueron inferiores a los 1500 mm, cifra que señalan algunos autores (11,12), como necesidad hídrica de la caña de azúcar. Comportamiento similar alcanzaron las otras localidades en estudio, pues "Loynaz Hechavarría" solo alcanzó precipitaciones anuales por encima de la cifra antes señalada, en los años 2006 y 2007, al igual que "Fernando de Dios" que además de estos dos años, alcanzó un ligero incremento de las lluvias en 1996 y 2012; no obstante, se observó que las precipitaciones no satisfacen las necesidades hídricas del cultivo, coincidiendo con los resultados alcanzados por varios autores (13), quienes plantearon que los mayores valores de precipitaciones se alcanzaron en la región más al norte de la provincia Holguín y demostraron mediante climogramas que estas localidades en estudio presentaron déficit de humedad en el suelo durante todo el año, debido a los altos valores de evaporación y al pobre acumulado de las lluvias.



**Figura 1.** Comportamiento anual de las precipitaciones durante 19 años en las localidades Loynaz Hechavarría, López-Peña y Fernando de Dios.

**Tabla 3.** Resultados del análisis de varianza factorial para las tres variables de cosecha empleadas en el estudio.

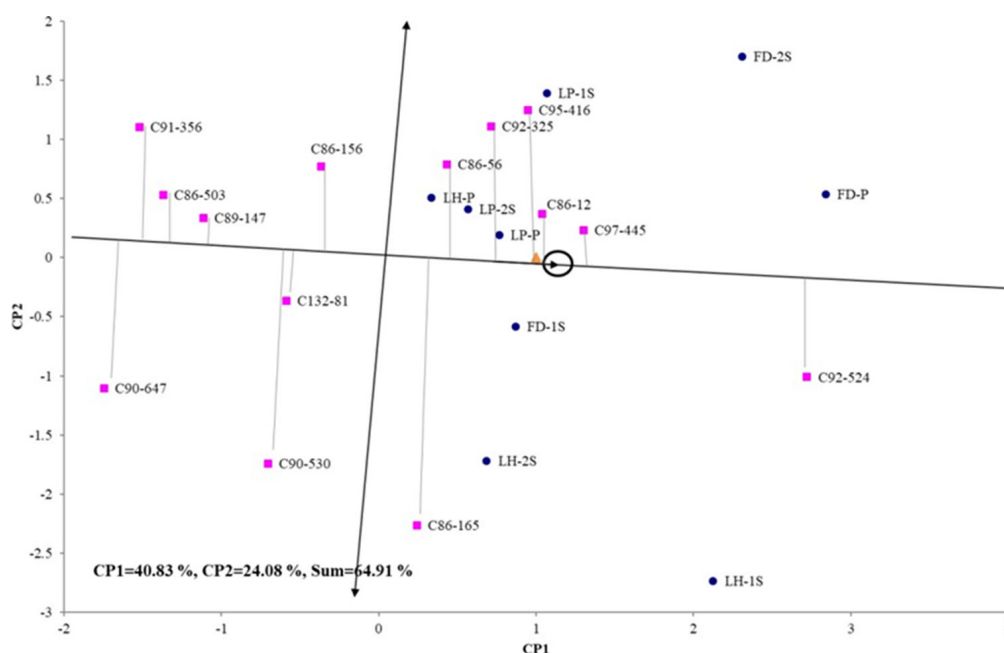
F.V.	gl	PPC			TCH			TPH		
		C.M	p	%S.C.	C.M	p	%S.C.	C.M	p	%S.C.
G	13	5,0	0,000	10,7	2256,5	0,000	6,5	77,6	0,000	6,7
L	2	9,4	0,000	3,1	21073,4	0,000	9,3	651,9	0,000	8,7
Cepa	2	52,9	0,000	17,5	12556,7	0,000	5,6	610,1	0,000	8,1
B/L	6	0,9	0,138	0,3	111,6	0,559	0,0	0,2	0,960	0,0
GxL	26	1,9	0,000	8,1	1170,2	0,000	6,7	31,4	0,000	5,4
GxC	26	0,8	0,027	3,3	452,1	0,000	2,6	12,2	0,001	2,1
LxC	4	43,3	0,000	28,7	56741,9	0,000	50,2	1949,8	0,000	51,8
GxLxC	52	1,0	0,000	8,8	729,1	0,000	8,4	22,8	0,000	7,9
Error	246	0,5		19,4	191,7		10,6	5,6		9,3
Total	377									
Media			17,1			71,75			12,46	
r <sup>2</sup>			0,8			0,9			0,9	

F.V-Fuente de variación; gl-grads de libertad; C.M- Cuadrado medio; %S.C Porcentaje extraído a la Suma de Cuadrados total; G-Genotipos; L-Localidad; C-Cepa; B/L-Bloques dentro de localidad (réplicas) r<sup>2</sup>-Coeficiente de determinación









CP1 y CP2 (Componentes principales 1 y 2), LH (Loynaz Hechavarría), LP (López - Peña), FD (Fernando de Dios), P (Cepa planta), 1R (Primer retoño), 2R (Segundo retoño)

**Figura 4.** Representación bidimensional del modelo de Regresión de Sitios del comportamiento medio y estabilidad de los genotipos para TPH.

Resultados similares han obtenido otros autores mediante el uso del biplot para identificar cultivares estables en diferentes ambientes; en un estudio realizado en diferentes ambientes en Kenya, un colectivo de autores determinó los genotipos de sorgo dulce (*Sorghum Moench*) más estables y el genotipo que mostró adaptabilidad general a todos los ambientes en estudio (22). También mediante el uso del GGE biplot varios autores identificaron los mejores genotipos de canola (*Brassica napus*) en cuanto a rendimiento y contenido de aceite (23). Asimismo, otros autores emplearon el análisis GGE Biplot para estudiar el comportamiento de diferentes genotipos de forraje en Turquía (24).

## CONCLUSIONES

- El uso del modelo SREG mediante el GGE biplot, permitió identificar y recomendar los cultivares con comportamiento estable en todos los ambientes en estudio.
- Se comprobó la existencia de la interacción genotipo-ambiente en los sitios estudiados y se destacaron los cultivares C92-524, C97-445 y C95-416, pues entre los cultivares que mostraron mejores rendimientos, estos fueron los que presentaron estabilidad fenotípica a todos los ambientes.

## RECOMENDACIONES

Incorporar al proyecto de variedades de la Empresa Azucarera Holguín los cultivares C92-524, C97-445 y C95-416, sin restricciones, por su estabilidad agroindustrial en todos los ambientes estudiados.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Gilbert RA, Shine Jr JM, Miller JD, Rice RW, Rainbolt CR. The effect of genotype, environment and time of harvest on sugarcane yields in Florida, USA. *Field Crops Research*. 2006;95(2-3):156-70.
2. García H. 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. 2007;30.
3. Hernández A, Pérez JM, Bosch D, Rivero L. Nueva versión de clasificación genética de los suelos de Cuba. *AGRIFOR*, 1999;64.
4. Jorge H, Jorge IM, Mesa JM, Bernal NA. Normas y Procedimientos del Programa de Fitomejoramiento de la Caña de Azúcar en Cuba. *Boletín Especial Cuba&Caña*. 2011;346.
5. Rodríguez R. Perfeccionamiento del programa de mejora genética de la caña de azúcar para la obtención de nuevos genotipos tolerantes al estrés por sequía. 'Tesis de Doctorado'. 'Cuba': Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar; 2010. 140 p.
6. Vidal S. Evaluación de cultivares de caña de azúcar, en su adaptabilidad en diferentes localidades de Matanzas bajo condiciones de secano. Matanzas "Camilo Cienfuegos": Matanzas; 2013. 72 p.
7. Yan W, Tinker NA. Biplot analysis of multi-environment trial data: Principles and applications. *Canadian journal of plant science*. 2006;86(3):623-45.

8. Abiche W. Estudio de nuevos cultivares de caña de azúcar *Saccharum* spp.) en tres localidades de la región sur-oriental de Cuba. Oriente. Santiago de Cuba; 2012.
9. Rea R, De Sousa-Vieira O, Díaz A, Ramón M, Briceño R, George J, et al. Genotype-Environment Interaction, Megaenvironments and Two-Table Coupling Methods for Sugarcane Yield Studies in Venezuela. Sugar Tech. 2016;18(4):354-64. doi:10.1007/s12355-015-0407-9
10. Rea R, De Sousa-Vieira O, Díaz A, Ramón M, Briceño R, George J, et al. Interacción genotipo-ambiente en caña de azúcar mediante los modelos AMMI y regresión de sitios en Venezuela. Rev. Fac. Agron.(LUZ). 2014;31:362-76.
11. Barros A. Caña de Azúcar *Saccharum officinarum* 'Internet'. 2016. Available from: [http://campus.fca.un-cu.edu.ar/pluginfile.php/31218/mod\\_resource/content/0/CA%20C3%2091A%20DE%20AZUCAR%202016.pdf](http://campus.fca.un-cu.edu.ar/pluginfile.php/31218/mod_resource/content/0/CA%20C3%2091A%20DE%20AZUCAR%202016.pdf)
12. Serrano A. Regionalización de las necesidades hídricas de la caña en áreas de la Empresa "Urbano Noris". Revista Ingeniería Agrícola. 2016;6(1):56-9.
13. Martín-Gutiérrez G, Villazón-Gómez MSJA, Pérez-Correa E, Cobo-Vidal Y, Rodríguez-Ortiz Y. Potencial agroproductivo de los suelos de la Empresa Azucarera de Holguín, Cuba. Hombre, Ciencia y Tecnología. 2015;19(3):32-40.
14. Yan W, Kang MS, Ma B, Woods S, Cornelius PL. GGE biplot vs. AMMI analysis of genotype-by-environment data. Crop science. 2007;47(2):643-53.
15. Bhartiya A, Aditya JP, Kumari V, Kishore N, Purwar JP, Agrawal A, et al. GGE BILOT & AMMI analysis of yield stability in multi-environment trial of soybean *Glycine max* (L.) Merrill" genotypes under rainfed condition of north western Himalayan hills. Journal of Animal and Plant Sciences. 2017;27(1):227-38.
16. Silva RC da. Métodos AMMI e GGE no estudo da interação genótipos x ambientes em algodão. 2016;
17. Ferreira AR. Adaptabilidade, estabilidade e tolerância de acessos de meloeiro à salinidade. 2016;
18. Bornhofen E, Benin G, Storck L, Woyann LG, Duarte T, Stoco MG, et al. Métodos estatísticos para estudo de adaptabilidade e estabilidade em trigo. Bragantia. 2017;76(1):1-10.
19. Wang R, Hu D, Zheng H, Yan S, Wei R. Genotypex environmental interaction by AMMI and GGE biplot analysis for the provenances of *Michelia chapensis* in South China. Journal of Forestry Research. 2016;27(3):659-64.
20. Vázquez-Carrillo MG, Rojas-Martínez I, Santiago-Ramos D, Arellano-Vázquez JL, Espinosa-Calderón A, García-Pérez M, et al. Stability analysis of yield and grain quality traits for the nixtamalization process of maize genotypes cultivated in the central high valleys of Mexico. Crop Science. 2016;56(6):3090-9.
21. Chinipardaz A, Karimizadeh R, Asghari A, Chinipardaz R, Sofalian O, Ghaffari A. Application of GGE biplot analysis to evaluate grain yield stability of rainfed spring durum wheat genotypes and test locations by climatic factors in Iran. Crop Breeding Journal. 2016;6(2):41-9.
22. Rono JK, Cheruiyot EK, Othira JO, Njuguna VW, Macharia JK, Owuochi J, et al. 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. 2016.
23. Ghani G, do Amaral AT, Khalil IA, Khan S, Adnan M, Ur Rahman Z, et al. Biplot analysis of seed yield and oil content combining ability in rapeseed '*Brassica napus*' L.). Australian Journal of Crop Science. 2016;10(9):1238.
24. Sayar MS, Han Y. Forage yield performance of forage pea *Pisum sativum* spp. arvense L.) genotypes and assessments using GGE biplot analysis. Journal of Agricultural Science and Technology. 2016;18(6):1621-34.