



ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN

Evaluación del efecto de la interacción genotipo ambiente en 19 cultivares de caña de azúcar (*Saccharum* spp.) en Cienfuegos, Cuba

Evaluation of the effect of genotype-environment interaction on 19 sugarcane cultivars (*Saccharum* spp.) in Cienfuegos, Cuba

Irenaldo Delgado Mora^{1*}, Sailín Rodríguez Fleites²,
 Héctor Jorge Suarez^{3*}, María Teresa Cornide Hernández³

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

²Universidad de Cienfuegos "Carlos Rafael Rodríguez", Cienfuegos, Cuba

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

INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

Recibido: 22/08/2019

Aceptado: 16/08/2021

CONFLICTO DE INTERESES

CONFLICTO DE INTERESES: No se declaran conflictos de intereses.

CORRESPONDENCIA

Irenaldo Delgado Mora
ireinaldo.delgado@inicavc.azcuba.cu
Héctor Jorge Suarez
hector.jorge@inica.azcuba.cu



Cu-ID: <https://cu-id.com/2153/cag041222352>

RESUMEN

Cuando los cultivares presentan una respuesta diferencial a las diversas condiciones edafoclimáticas, es necesario disponer de genotipos con altos rendimientos y estables, así como la estabilidad permite al genotipo ajustar su capacidad productiva a la más amplia variación ambiental. El objetivo de este trabajo consistió en determinar la interacción genotipo ambiente en 19 cultivares de caña de azúcar en la localidad de Cienfuegos, en la variable porcentaje de Pol. El estudio se desarrolló en el bloque experimental de caña de azúcar, ubicado en Espartaco, Palmira, Cienfuegos, perteneciente a la Estación Territorial de Investigaciones de la Caña de Azúcar (ETICA Centro Villa Clara). El diseño empleado fue un bloque completamente al azar con tres repeticiones sobre un suelo Pardo sialítico, en las cepas de caña planta y primer retoño. Se obtuvo como resultado que el mes de diciembre en la cepa de retoño (C2M2) es el ambiente ideal, donde el cultivar 'C88-380' presentó alto rendimiento y estabilidad fenotípica, 'C91-356' presentó los valores inferiores de rendimiento y 'C91-367' fue el más inestable. Se forman dos mega-ambientes, donde los cultivares 'C90-317', 'C86-12', 'C90-501' y 'C1051-73' están representados por los ambientes C1M1 y C1M2, así como 'C88-380', 'C89-372', 'C89-176', 'C89-148' y 'C86-56' con la mayoría de los ambientes restantes, mientras que 'C91-356', 'C323-68', 'C86-165', 'C91-115', 'C90-530', 'C86-156', 'C91-367', 'C90-469', 'C89-250' y 'C86-251' no se relacionan con ningún ambiente en específico.

Palabras clave: mega-ambientes, maduración, estabilidad, adaptabilidad, variabilidad

ABSTRACT

When cultivars present a differential response to diverse edaphoclimatic conditions, it is necessary to have high performance and stable genotypes, as well as stability allows the genotype to adjust its productive capacity to the widest

environmental variation. The objective of this work was to determine the genotype-environment interaction in 19 sugarcane cultivars in the locality of Cienfuegos, in the variable Pol percentage. The study was carried out in the experimental block of sugarcane, located in Espartaco, Palmira, Cienfuegos, belonging to the Territorial Station of Sugarcane Research (ETICA Centro Villa Clara). The design used was a completely randomized block with three replications on a sialitic Brown soil, in the strains of cane plant and first ratoon. It was obtained as a result that the month of December in the ratoon strain (C2M2) is the ideal environment, where the cultivar 'C88-380' presented high yield and phenotypic stability, 'C91-356' presented the lowest yield values and 'C91-367' was the most unstable. Two mega-environments are formed, where cultivars 'C90-317', 'C86-12', 'C90-501' and 'C1051-73' are represented by environments C1M1 and C1M2, as well as 'C88-380', 'C89-372', 'C89-176', 'C89-148' and 'C86-56' with most of the remaining environments, while 'C91-356', 'C323-68', 'C86-165', 'C91-115', 'C90-530', 'C86-156', 'C91-367', 'C90-469', 'C89-250' and 'C86-251' are not related to any specific environment.

Keywords: mega-environments, maturation, stability, adaptability, variability

INTRODUCCIÓN

La variedad ideal de caña de azúcar es la que presenta alta productividad cuando es cultivada bajo diversas condiciones ambientales. El principal factor que dificulta el aumento de la producción es la interacción genotipo ambiente (IGA) que se expresa en la heterogeneidad de los suelos, relieves accidentados y sobre todo en la irregularidad de las lluvias con largos períodos de seca (Núñez, 2014).

El cambio climático representa una seria amenaza para las sociedades centroamericanas por sus múltiples impactos previstos en la producción, la infraestructura, los medios de vida, la salud y la seguridad de la población (Cepal, 2010). Se hace necesario profundizar en esta temática, si se considera que el clima global se ha alterado significativamente (Cambio Climático Global), como resultado del aumento de concentraciones de gases invernadero, incremento de la temperatura atmosférica y del nivel del mar, la reducción y la inestabilidad del régimen de lluvias, aunado a la intensificación de los fenómenos meteorológicos extremos (como las sequías y los huracanes), y el incremento de la concentración de CO₂ atmosférico (Rodríguez, 2012).

Las tendencias actuales en la agricultura cañera requieren para su implementación, que se establezcan las bases científico-técnicas para enfrentar las variaciones del clima, que incidirán a mediano y largo plazo en el área del Caribe (Rodríguez, 2012). En ese contexto, en el cultivo de la caña de azúcar para Cuba, una de las soluciones más prácticas y económicas se encuentra en la obtención de genotipos con cierto grado de tolerancia, mediante el desarrollo de programas de mejoramiento genético. Para esto será necesario acercarse cuanto más se pueda, los ambientes de selección de los cultivares a los ambientes de destino, distanciados en los últimos años a causa de las limitaciones económicas del país, cuando la red para estudios multiambientales se redujo de 30 a 13 ambientes (Jorge *et al.*, 2010), lo que repercutió de manera significativa en los estudios para la determinación de la adaptabilidad y estabilidad genotípica.

Cuando los cultivares presentan una respuesta diferencial a las diversas condiciones edafoclimáticas, es necesario disponer de genotipos con altos rendimientos y estables, así como la estabilidad permite al genotipo ajustar su capacidad productiva a la más amplia variación ambiental (Gaikwad *et al.*, 2014). Los ensayos comparativos de rendimiento multiambientales permiten identificar los genotipos de mejor rendimiento y los más estables, es decir, aquellos que mantienen su alto potencial productivo a través de un amplio rango de condiciones ambientales (Rea y De Sousa, 2002). Sin embargo, la selección es ineficiente por efecto de IGA, que hace que las variedades se comporten diferencialmente en distintas localidades (Rea *et al.*, 2014).

La caracterización ambiental juega un rol preponderante para definir estrategias de selección en los programas de mejoramiento genético de cultivos. Es importante para efectuar la evaluación de nuevos cultivares en diferentes condiciones para estimar apropiadamente el potencial genético productivo y la estabilidad fenotípica de las variedades; además de proveer una estrategia confiable para seleccionar los mejores genotipos disponibles, para las nuevas localidades (Camargo *et al.*, 2011).

El modelo Biplot GGE ubica gráficamente la posición de la localidad "ideal" que es teórica, altamente discriminatoria y es representativa, la misma está basada en los datos de la ubicación media obtenida del conjunto de datos provenientes de los genotipos y ambientes evaluados (Yan y Kang, 2003). La distancia gráfica en dos dimensiones entre la localidad verdadera y la ideal es una indicación de la conveniencia de la localidad, con respecto a su capacidad para discriminar genotipos y su representatividad como ambiente adecuado para seleccionar diferentes características en determinados ambientes (Camargo *et al.*, 2011).

Yan *et al.* (2000), y Yan y Kang (2003) plantearon utilizar el modelo Biplot GGE para examinar la interacción genotipo-ambiente, mediante la capacidad de discriminar y la representatividad de los ambientes de prueba como una medida conveniente para definir mega-ambientes homogéneos. Por lo que, el presente trabajo tuvo como objetivo evaluar el efecto de la interacción genotipo

ambiente en 19 cultivares de caña de azúcar en la localidad de Cienfuegos, con la determinación de la adaptabilidad y estabilidad fenotípica.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se desarrolló en el bloque experimental de la caña de azúcar de Espartaco, ubicado en Palmira, Cienfuegos y perteneciente a la Estación Territorial de Investigaciones de la Caña de Azúcar (ETICA Centro Villa Clara), en suelo Pardo Sialítico (Cambisols), según [Hernández et al. \(1975\)](#) y [Hernández et al. \(1999\)](#). El diseño empleado fue de bloque completamente al azar con tres repeticiones, en áreas de secano. La variable del rendimiento evaluada fue: porcentaje de Pol en caña (% Pol en caña), según la metodología establecida por el INICA ([Jorge et al., 2011](#)), así como, 19 cultivares en explotación en la producción cañera ([Tabla 1](#)).

El área de las parcelas es de 48 m², con un largo de 7,5 m, por un ancho de 1,60 m, con cuatro surcos de ancho ([Pérez y Milanés, 1979](#)). Fueron plantados siete ensayos (unidad experimental) durante el período de septiembre de 2009 a febrero de 2010 de la forma siguiente: dos en septiembre, dos en noviembre de 2009, así como dos en enero, y uno en febrero de 2010). Esto se hizo con el propósito de cosecharlos con edades óptimas entre 14 y 15 meses, durante todo el período de zafra (desde noviembre de 2010 hasta mayo 2011), en la cepa caña planta (P) y en el primer retoño (R) con 12 meses de edad, durante el período de noviembre de 2011 a mayo de 2012.

Estimación de la adaptabilidad y estabilidad fenotípica

Para la estimación de la estabilidad y la adaptabilidad fenotípica, se definen como ambientes los siete meses de evaluación en las dos cepas estudiadas ([tabla 2](#)) y como genotipos a los 19 cultivares anteriormente señalados.

Comprobada la significación estadística de las interacciones de dos efectos principales fijos, se procedió a la determinación de la adaptabilidad y estabilidad de los genotipos, a través del Modelo Lineal tradicional (LM) de efectos fijos (Modelo I), mediante el programa InfoGen ([Balzarini y Di Rienzo, 2016](#)). Este programa utiliza la matriz de dos entradas (GxE), sobre la que aplica el modelo

Tabla 2. Ambientes en estudio

Ambientes	Definición
C1M1	Cepa caña planta en el mes noviembre
C1M2	Cepa caña planta en el mes diciembre
C1M3	Cepa caña planta en el mes enero
C1M4	Cepa caña planta en el mes febrero
C1M5	Cepa caña planta en el mes marzo
C1M6	Cepa caña planta en el mes abril
C1M7	Cepa caña planta en el mes mayo
C2M1	Cepa retoño en el mes noviembre
C2M2	Cepa retoño en el mes diciembre
C2M3	Cepa retoño en el mes enero
C2M4	Cepa retoño en el mes febrero
C2M5	Cepa retoño en el mes marzo
C2M6	Cepa retoño en el mes abril
C2M7	Cepa retoño en el mes mayo

Lineal-bilineal de Regresión de sitios (SREG o GGE biplot), según [Gabriel \(1971\)](#) y [Yan y Tinker \(2006\)](#). Los gráficos se centraron en ambientes (por convención, las columnas) no se transformaron ni se aplicaron escalas a las variables. Para obtener la salida del método “WWW” (*Which-Won-Where*), se usó la preservación métrica del ambiente y para la clasificación de genotipos por sus medias y estabilidad según el método de la Coordinación Media Ambiental (AEC, *Average Environment Coordination*) y la preservación métrica del genotipo ([Yan et al., 2000](#); [Yan y Tinker, 2006](#)).

Los datos originales fueron comprobados para su ajuste a la normalidad mediante la prueba de Bartlett, con su correspondiente Chi cuadrado. Los paquetes estadísticos utilizados fueron: STATISTICA 6.0. sobre Windows e InfoGen versión 2016.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la [tabla 3](#) se ofrece la diferencia significativa en el análisis de varianza bifactorial (cultivar vs ambiente), dando paso a la estimación de la adaptabilidad y estabilidad fenotípica de estas variables a través de la regresión de sitios (SREG) con el biplots GGE.

Tabla 1. Cultivares estudiados

Nº	Cultivares	Nº	Cultivares	Nº	Cultivares	Nº	Cultivares
1	'C1051-73'	6	'C86-251'	11	'C89-250'	16	'C90-530'
2	'C323-68'	7	'C86-56'	12	'C89-372'	17	'C91-115'
3	'C86-12'	8	'C88-380'	13	'C90-317'	18	'C91-356'
4	'C86-156'	9	'C89-148'	14	'C90-469'	19	'C91-367'
5	'C86-165'	10	'C89-176'	15	'C90-501'		

Tabla 3. Análisis de varianza bifactorial (cultivares vs ambientes)

Fuente variación	MS	F	p
Cultivar	9,68	14,6	0,000000
Ambiente	44,10	66,4	0,000000
Cultivar*Ambiente	1,34	2,0	0,005128
Error	0,66		

(Media: 18,67; E. Estandar: 0,1015; Coef.Variación: 7,87)

Estimación de la adaptabilidad y estabilidad fenotípica

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

La **figura 1** muestra la regresión de sitios (SREG) con el biplots GGE en la variable porcentaje de Pol en caña (PPC), de la combinación bifactorial (cultivar*ambiente). En el plano de las dos primeras componentes (CP1 y CP2), se muestran los resultados del ACP sobre la base de la matriz de correlaciones simples de los datos originales. Se muestra el vector ambiental del GGE biplot, el cual explica 69,5 % de la variación fenotípica total.

La mayoría de los ambientes analizados presentan alta correlación, por formar un ángulo agudo entre ellos, excepto el ambiente C1M1 que hace un ángulo recto (no correlación) con los ambientes C1M6, C1M7, C2M4, C2M5, C2M6 y C2M7. Así mismo, ofrece correlación negativa con el ambiente C1M4, formando un ángulo obtuso ($> 90^\circ$), sugiriendo una interacción cruzada. C1M1 y C1M2 presentan los vectores más largos, indicando que son los ambientes más informativos y de mayores valores discriminativos, pero no los más representativos, siendo útiles para seleccionar genotipos con adaptación específica en presencia de varios mega-ambientes, así como si pertenecen a un mismo mega-ambiente, son útiles para detectar genotipos inestables (Yan y Tinker, 2006). Estos ambientes coinciden con los meses de inicio de zafra en la cepa de caña planta, lo que significa que resultan útiles para identificar genotipos de alto contenido azucarero en esa época de cosecha.

Sin embargo, C1M4 ofrece los valores de su vector más bajo, indicando la no utilidad para la selección de cultivares. Un ambiente de prueba que no discrimine ofrece poca información sobre los genotipos (Yan y Tinker, 2006). Camargo *et al.* (2011), en localidades de pruebas en el cultivo de arroz del Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP), identificaron ambientes representativos y discriminatorios para seleccionar genotipos de arroz mediante el Biplot GGE, logrando separar las localidades más discriminatorias (Remedios, Tanara, Alanje) y las más representativas (Calabacito, Tonosí, Barú), permitiendo priorizar la investigación en aquellas localidades más apropiadas para identificar genotipos superiores.

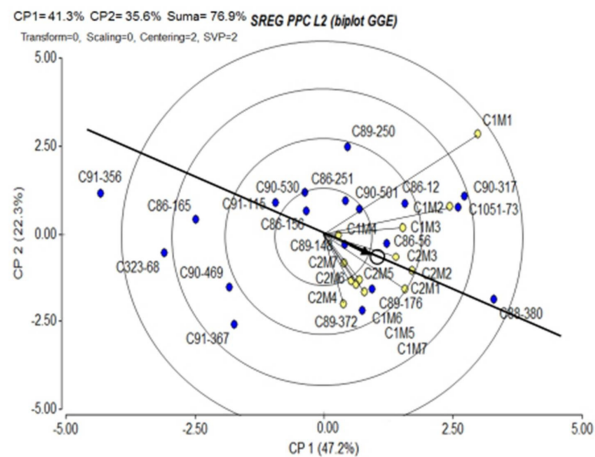


Figura 1. Habilidad discriminatoria y representatividad de los ambientes de prueba mediante los vectores ambientales resultantes del análisis GGE biplot

Los ambientes de prueba C1M4, C2M3, C2M1 y C2M2 son los más representativos, formando un ángulo agudo ($< 90^\circ$) y demostrando correlación positiva con respecto al promedio ambiental (Figura 1). Sin embargo, los ambientes C1M1, C1M2 y C2M4 son los más alejados, es decir, los menos representativos.

El ambiente C2M2 es discriminatorio y representativo a la vez, siendo el más cercano al ambiente ideal. Este ambiente se corresponde con la cepa de retoño en el mes de diciembre, lo que indica la importancia que tiene la cepa de retoño en la zafra azucarera, por ser una cepa más homogénea en la formación de sus tallos y con el mes de diciembre con el inicio de la misma, sugiriendo la etapa óptima para seleccionar cultivares para ese período.

Yan y Tinker (2006) 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 decir, el vector más informativo. Aquel ambiente que esté más cercano a dicho punto, es el más recomendable. Señalan, además, que dentro de un mega-ambiente, el ambiente de prueba ideal debe ser discriminatorio y representativo de ese ambiente, es decir, son buenos para seleccionar genotipos de adaptación amplia.

Comportamiento medio y estabilidad de los genotipos

La figura 2 ofrece el biplot GGE con el comportamiento y estabilidad de los genotipos basado en el eje promedio ambiental. En este caso, la línea de una sola flecha que está en la abscisa del eje promedio ambiental, representa el sentido del rendimiento; por ello, 'C88-380', 'C90-317' y 'C1051-73' son los cultivares de mayor contenido azucarero, mientras que en sentido opuesto '91-356', 'C323-68' y 'C86-165' presentaron los menores valores.

La línea de doble flecha que está en la ordenada del gráfico, tiene este punto gran variabilidad en una u otra dirección. El cultivar 'C91-115' es de bajo rendimiento, pero estable, lo que indica similar respuesta en todos los ambientes evaluados. Sin embargo, 'C91-367' tiene mayor rendimiento que este, pero es muy inestable, lo que indica que esta baja respuesta puede cambiar a mayor rendimiento en otros ambientes. El cultivar 'C88-380' es de alto rendimiento y muy estable, es decir, alcanza este comportamiento en todos los ambientes.

Shitahun *et al.* (2017) obtuvieron resultados similares en la identificación de genotipos de caña de azúcar ampliamente adaptados para el rendimiento de azúcar en tres tipos de suelos (pesados, medios y ligeros), en la plantación azucarera de Metahara (Etiopía).

Genotipos de mejor comportamiento en diferentes ambientes

Los cultivares 'C91-356', 'C89-250', 'C90-317', 'C88-380', 'C89-372', 'C91-367' y 'C323-68' forman los vértices del polígono el cual queda dividido en cinco cuadrantes, los cuales contienen al genotipo en el extremo. Estos, son los que más rinden en los ambientes que quedan encerrados en el cuadrante (Figura 3).

El cuadrante I, tiene a los cultivares 'C91-356' y 'C323-68' como vértices, incluyendo a 'C86-165', 'C91-115', 'C90-530' y 'C86-156'. El segundo cuadrante tiene a 'C91-367' como vértices y 'C90-469' que forma parte del mismo, el quinto cuadrante con vértice a 'C89-250' tiene también a 'C86-251'. Ninguno de los cuadrantes anteriormente expresados tiene ambientes que los representen, indicando desfavorables resultados de los cultivares en los mismos.

El tercer cuadrante está representado por 'C88-380' y 'C89-372' como vértices, contiene además a 'C89-176', 'C89-148', 'C86-56' y a la mayoría de los ambientes. El cuarto cuadrante está representado por 'C90-317' e incluyen a los cultivares 'C86-12', 'C90-501' y 'C1051-73' y a los ambientes C1M1 y C1M2. Es decir, este cuadrante que contiene a los ambientes más discriminativos, los meses de inicio de zafra en la cepa de caña planta, la cual tiene la particularidad de ser más heterogénea en la formación de sus tallos. De este modo, quedan formados dos mega-ambientes. Todos los ambientes que quedan en un mismo cuadrante se dicen que pertenecen a un mega-ambiente, lo que indica que el

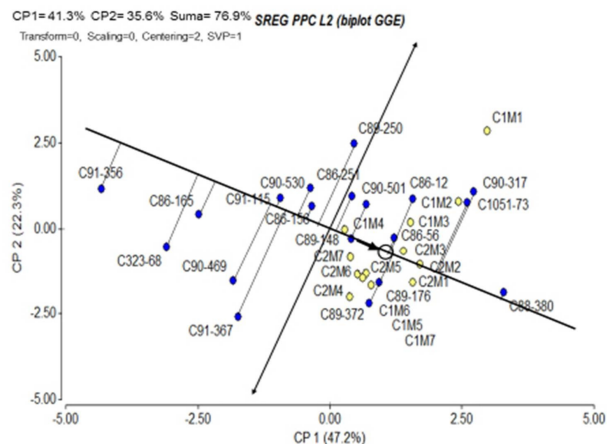


Figura 2. Respuesta y estabilidad de los cultivares basado en el eje de coordenadas del ambiente promedio, mediante el análisis GGE biplot

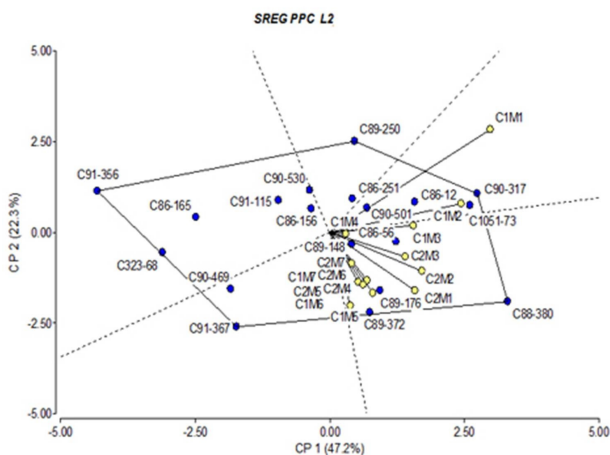


Figura 3. Cultivares de mejor respuesta en diferentes ambientes

componente GE fue mayor que la componente G (Yan y Tinker, 2006).

El modelo de Yan y Tinker (2006), así como el promedio ambiental y la comparación de genotipos con el ambiente ideal, ha sido ampliamente utilizado en girasol (Cherinet *et al.*, 2016), y arroz (Donoso-Nanculao *et al.*, 2016). Delgado-Mora *et al.* (2016) indicaron que los cultivares tienden a tener una respuesta desigual en los diferentes sitios, como lo señalaron Rea *et al.* (2014).

CONCLUSIONES

El mes de diciembre en la cepa de retoño (C2M2) es discriminatorio y representativo, formando el ambiente más cercano al ideal. El cultivar 'C88-380' presentó alto rendimiento y estabilidad fenotípica, así como el 'C91-356' los valores inferiores de rendimiento y 'C91-367' el más inestable. Se forman dos mega-ambientes bien definidos,

donde los cultivares 'C90-317', 'C86-12', 'C90-501' y 'C1051-73' están representados por los ambientes C1M1 y C1M2, así como 'C88-380', 'C89-372', 'C89-176', 'C89-148' y 'C86-56' con la mayoría de los ambientes restantes. Mientras 'C91-356', 'C323-68', 'C86-165', 'C91-115', 'C90-530', 'C86-156', 'C91-367', 'C90-469', 'C89-250' y 'C86-251' no aparecen definidos en ningún ambiente.

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

María Teresa Cornide Hernández: Contribuyó en la aplicación de las técnicas estadísticas utilizadas para analizar o sintetizar los datos de estudio obtenidos. Hizo la revisión crítica del borrador y recomendó modificaciones, supresiones y adiciones en el mismo. Contribuyó en la preparación, creación y presentación del trabajo publicado.

Sailín Rodríguez Fleites. Participó en la creación del artículo.

Héctor Jorge Suarez: Diseñó la investigación, y recopiló los datos obtenidos en las pruebas de los experimentos. Contribuyó en la preparación, creación y presentación del trabajo publicado.

Irenaldo Delgado Mora: Diseñó la investigación, evaluó y recopiló los datos obtenidos en las pruebas de los experimentos. Conceptualizó y formuló los objetivos generales de la investigación. Interpretó los resultados del análisis estadístico y redactó el borrador del manuscrito. Fue el responsable de la gestión, coordinación, planificación y ejecución de las actividades de investigación. Tuvo la responsabilidad de supervisar y liderar la planificación y ejecución de las actividades de investigación, incluida la tutoría al equipo responsable de tomar los datos experimentales y la de tesis de grado. Contribuyó en la preparación, creación y presentación del trabajo publicado. Fue el responsable de escribir el manuscrito publicado, específicamente, la redacción del borrador (incluida la rectificación de los señalamientos realizados al mismo por los árbitros y Consejo Editorial).

BIBLIOGRAFÍA

BALZARINI, M. G. y DI RIENZO, J. A. 2016. InfoGen, versión 2016. FCA. Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.

CAMARGO-BUITRAGO, I., QUIRÓS-MC INTIRE, E. y GORDÓN-MENDOZA, R. 2011. Identificación de ambientes representativos y discriminatorios para

seleccionar genotipos de arroz mediante el biplot GGE. *Agronomía Mesoamericana*, 22 (2): 245-255.

CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe). 2010. *Efectos del cambio climático sobre la agricultura*. Editorial México, D.F.: CEPAL, Costa Rica, 76 p.

CHERINET, A., WORKU, A., MEKONNEN, M., *et al.* 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*, 10 (2): 104-109.

DELGADO-MORA, I. NUÑEZ-JARAMILLO, D., SUAREZ, H., *et al.* 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.

DONOSO-ÑANCULAO, G., PAREDES, M., BECERRA, V., *et al.* 2016. GGE biplot analysis of multi-environment yield trials of rice produced in a temperate climate. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 76 (2): 152-157.

GABRIEL, K. R. 1971. The Biplot-graphic display of matrices with applications to principal component analysis. *Biometrika*, 58: 453-467.

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*, 6 (2): 5220-5224.

HERNÁNDEZ, A., PÉREZ, J. M., BOSCH, D., *et al.* 1999. *Nueva versión de clasificación genética de los suelos de Cuba*. AGRINFOR, La Habana, 64 p.

HERNÁNDEZ, A., PÉREZ, J., ORTEGA, O., *et al.* 1975. II Clasificación genética de los suelos de Cuba. *Revista Agricultura*, VIII (1): 47-69.

JORGE, H., GARCÍA, H., JORGE, I., *et al.* 2010. Red experiemntal para el desarrollo de las investigaciones de la caña de azúcar en Cuba. ¿Necesarias? *Revista Cuba & Caña*, 2: 33-48.

JORGE, H., GONZÁLEZ, R., CASAS, M., *et al.* 2011. *Normas y procedimientos del programa de mejoramiento genético de la caña de azúcar en Cuba*. PUBLINICA, La Habana, Cuba, 308 p.

- NÚÑEZ-JARAMILLO, D. 2014. Caracterización de cultivares de caña de azúcar de madurez temprana, para el inicio de la zafra azucarera en suelos Sialitizados no cálcicos. Tesis para optar por el título de Ingeniero Agropecuario. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Cuba, 33 p.
- PÉREZ, J. L. y MILANÉS, N. 1979. Determinación del área y de la forma de las parcelas experimentales, y del número óptimo de réplicas, para los experimentos en caña de azúcar. *Ciencias de la Agricultura*, 4: 111-115.
- REA, R. O., DE SOUSA-VIEIRA, A., DÍAZ, M., *et al.* 2014. Genotype-environment interaction in sugarcane by AMMI and site regression models in Venezuela. *Revista de Facultad de Agronomía (LUZ)*, 31: 362-376.
- REA, R. and DE SOUSA, O. 2002. Genotipe x environment interaction in sugarcane yield trials in the central Western region of Venezuela. *Interciencia*, 27 (11): 620-624.
- 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 para optar por el título de Doctor en Ciencias Agrícolas. INICA, La Habana, Cuba, 100 p.
- SHITAHUN, A., HUSSEIN M. and TADESSE, F. 2017. Stability of sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) genotypes for sugar yield under three soil types. *Journal of Agricultural Science and Research (JASR)*, 4 (1): 13-18.
- YAN, W. and TINKER, N. A. 2006. Biplot analysis of multi-environment trial data: Principles and applications. *Canadian Journal of Plant Science*, 86: 623-645.
- YAN, W., HUNT, L. A., SHENG, Q., *et al.* 2000. Cultivar evaluation and mega-environment investigation based on the GGE biplot. *Crop Science*, 40: 597-605.
- YAN, W., KANG, M. S. 2003. *GGE Biplot Analysis: A Graphical tool for breeders, geneticist, and agronomists*. CRC Press. Boca Raton, F. L. 271 p.



Artículo de libre acceso bajo los términos de una [Licencia Creative Commons AtribuciónNoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/). Se permite, sin restricciones, el uso, distribución, traducción y reproducción del documento, siempre que la obra sea debidamente citada.