

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN

## Evaluación de Genotipos de Caña de Azúcar en diferentes Ambientes en el Ingenio Ofelina, República de Panamá

### Evaluation of Sugar Cane Genotypes in different Environments in Ingenio Ofelina, Republic of Panama

Héctor Jorge Suárez<sup>1</sup>, Antonio Menéndez Sierra<sup>1</sup>, Alberto González Marrero<sup>3</sup>, Irenaldo Delgado Mora<sup>2</sup> y José Ramón Gómez Pérez<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Compañía Azucarera La Estrella S.A- Panamá. APDO. 0201-00049 Aguadulce. Rep. Panamá. CP 0201

<sup>2</sup>ETICA Centro Villa Clara. Estación Territorial de Investigaciones de la Caña de Azúcar. Autopista Nacional Km 246, Ranchuelo, Villa Clara, Cuba. CP 53100

<sup>3</sup>Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar. Carretera a la CUJAE km 2 ½. Boyeros. La Habana. CP 10800

*E-mail:* [hjorgesuarez@gmail.com](mailto:hjorgesuarez@gmail.com); [ireinaldo.delgado@inicavc.azcuba.cu](mailto:ireinaldo.delgado@inicavc.azcuba.cu); [alberto.gonzalez@inica.azcuba.cu](mailto:alberto.gonzalez@inica.azcuba.cu)

---

#### RESUMEN

El conocimiento y clasificación de los diferentes sitios de pruebas y su evaluación para el estudio de los genotipos se hace obligatorio, en los programas de fitomejoramiento, igualmente el conocimiento de la adaptabilidad de los cultivares permite maximizar su producción. El trabajo tuvo como objetivo determinar la adaptabilidad y estabilidad fenotípica de nuevos cultivares introducidos en CALESA mediante el método de Representación Bidimensional (Biplot) en dos cosechas, así como recomendar los de mejor comportamiento agroproductivo bajo las condiciones de suelo y clima del Ingenio Ofelina. Veinte cultivares fueron plantados en suelos Ferralítico rojo, Pardo sin carbonato y Ferralítico cuarcítico. Las variables de cosecha estudiadas fueron: rendimiento de caña, rendimiento de pol y porcentaje de pol en caña. El efecto ambiental y la interacción genotipo-ambiente fueron superiores al de los genotipos en la contribución a la variación fenotípica total. Los cultivares E07-04, E07-09, BT84102 y Na56-42 en los tres caracteres agroazucareros resultaron estables y adaptadas a las diferentes condiciones ambientales y mostraron un contenido azucarero similar o superior a los controles. El análisis de componentes principales ofreció la formación de seis grupos diferentes los que se corresponden con los ambientes evaluados, existiendo un pequeño acercamiento entre el ambiente 2 y 4.

**Palabras clave:** ambientes, componentes de varianza, estabilidad, heredabilidad, Modelo AMMI

#### ABSTRACT

Knowledge and classification of the different test sites and their evaluation for the study of the genotypes becomes obligatory, in the breeding programs, also the knowledge of the adaptability of the cultivars allows to maximize their production. The objective of the work was to determine the adaptability and phenotypic stability of new cultivars introduced in CALESA by means of the Two-dimensional Representation method (Biplot), in two crops, as well as recommending those with the best agroproductive behavior under soil and climate conditions, of the Ingenio Ofelina. Twenty cultivars were planted in red Ferralitic, Brown without carbonate and Ferralitic quartzitic soils. The

crop variables studied were: cane yield, pol yield and percentage of pol in cane. The environmental effect and the genotype-environment interaction were superior to that of the genotypes in the contribution to the total phenotypic variation. The cultivars E07-04, E07-09, BT84102 and Na56-42 in the three agrosugar characters were stable and adapted to the different environmental conditions and showed a sugar content similar or superior to the controls. The main component's analysis offered the formation of six different groups which correspond to the environments evaluated, there being a small approach between environment 2 and 4.

**Keywords:** environments, variance components, stability, heritability, Model AMMI

## INTRODUCCIÓN

La Compañía Azucarera La Estrella S. A. (CALESA) posee 6 000 ha de azúcar, más de 60 % del área ocupada por dos genotipos de caña de azúcar, lo que constituye un riesgo limitante ante la aparición de una plaga o enfermedad si estos son susceptibles, esta restricción justifica la necesidad de introducir al proceso productivo nuevos genotipos de alto potencial agroazucarero y resistentes a los problemas fitosanitarios.

Estimaciones efectuadas en la industria azucarera australiana, muestran que al mejorar el contenido de azúcar se obtiene una rentabilidad de 1,8 veces mayor que la lograda con el aumento del rendimiento de caña, sobre la base de una misma cantidad de azúcar producida. A pesar de esto y de la alta heredabilidad que presenta el contenido de azúcar, ha habido un limitado progreso en el mejoramiento de este carácter en los últimos 40 años (Jackson, 2005).

En los programas de fitomejoramiento, el conocimiento y clasificación de los diferentes sitios de pruebas es importante en la determinación de los ambientes necesarios para realizar una evaluación eficiente de genotipos y estudiar la adaptabilidad, la estabilidad del comportamiento de estos cultivares y la forma en que interactúan con los ambientes de evaluación.

El comportamiento desigual de genotipos en diferentes ambientes (interacción genotipo x ambiente, G x A) ha mostrado que se reduce el progreso en la selección y complica la identificación de cultivares superiores en ensayos regionales (Eskridge, 1990 citado por Rea *et al.*, 2014).

Para analizar la interacción genotipo-ambiente se han desarrollado numerosos métodos de análisis, entre los cuales pueden ser mencionados el coeficiente de regresión, los desvíos a la regresión, las coordenadas principales, los modelos estadísticos de efecto principal aditivo, la interacción multiplicativa denominados modelos

AMMI, entre otros. Los mismos determinan los parámetros de estabilidad que constituyen herramientas útiles para distinguir diferencias genéticas o ambientales entre variedades, híbridos, clones, etc., porque solo el valor de la media del carácter como único dato, resulta insuficiente para definir el comportamiento del material en estudio (Kang, 1998).

El trabajo tuvo como objetivos determinar la adaptabilidad y estabilidad fenotípica de nuevos cultivares, recomendar los de mejor comportamiento agroproductivo y clasificar los ambientes de evaluación de acuerdo con las condiciones de suelo y clima del Ingenio Ofelina, compañía CALESA.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Los estudios fueron plantados en el mes de abril de 2010 en los campos 998, 660 y 100 (Clase agrícola IV (moderada), suelos: Ferralítico rojo, Pardo sin carbonato y Ferralítico cuarcítico respectivamente (Cortegaza y Menéndez, 2010) con 20 cultivares (Tabla 1). Los controles empleados (testigos) fueron los cultivares B74125 y Ragnar de alto potencial azucarero, y se utilizó el diseño de bloque al azar con tres repeticiones (un tamaño de parcela de 48 m<sup>2</sup>). Las variables de cosecha estudiadas fueron: rendimiento de caña, rendimiento de pol y porcentaje de pol en caña.

Los experimentos fueron conducidos y evaluados, según está estipulado en las Normas y Procedimientos para el Mejoramiento de la Caña de Azúcar en Cuba (Jorge *et al.*, 2011). Las evaluaciones se realizaron en las cepas (cortes) de caña planta (marzo de 2011) y en retoño (abril 2012) a los 11 y 13 meses de edad respectivamente. Los ambientes se corresponden con las tres localidades y las dos cepas estudiadas (Ambiente 1: Campo 998 caña planta, Ambiente

**Tabla 1.** Relación de los cultivares de caña de azúcar estudiados

No	Cultivares	No	Cultivares	No	Cultivares	No	Cultivares
1	Ragnar	6	DB83114	11	E07-06	16	E07-12
2	DB7160	7	Na56-42	12	E07-07	17	E07-14
3	BT7742	8	E07-01	13	E07-09	18	CR74-250
4	B80689	9	E07-02	14	E07-10	19	BT84102
5	DB82151	10	E07-04	15	E07-11	20	BJ9319

E: Estrella

2: Campo 998 primer retoño, Ambiente 3: Campo 660 caña planta, Ambiente 4: Campo 660 primer retoño, Ambiente 5: Campo 100 caña planta y Ambiente 6: Campo 100 primer retoño).

**Modelos empleados en la determinación de los componentes de varianza y de la interacción genotipo-ambiente**

Se realizaron dos análisis de varianza de efectos aleatorios para conocer los componentes de varianza, la contribución de cada uno de ellos (genotipos, localidades y cepas) y sus interacciones a la variación fenotípica total. Se empleó el modelo reducido, descrito por Milligan *et al.* (1990) cuando se incluyeron en las causas de variación los genotipos y localidades, ampliado al agregar a las dos anteriores las cepas. En el modelo reducido los resultados que se expondrán son los de primer retoño, pues los retoños son el 80 % de la producción cañera en los países que cultivan la caña de azúcar.

A partir de los estimados de los componentes de varianza se obtuvieron los parámetros genético-estadísticos heredabilidad en sentido ancho ( $h^2$ ) de acuerdo con Hogarth (1968), también se presentan el error estándar aproximado de cada componente y el coeficiente genético de variación (CGV) (Falconer, 1970).

**Análisis de la adaptabilidad y estabilidad fenotípica**

Los modelos AMMI 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 la interacción genotipo-ambiente un diseño bifactorial de genotipos y ambientes (Gauch, 2006).

Se llamará modelo AMMI a la expresión:

$$AMMI_M : E_{(Y_{ij})} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \sum_{m=1}^M \lambda_m u_{mi} v_{mj} + e_{ij} \quad (1)$$

- $Y_{ij}$  - observación correspondiente a la combinación de niveles  $ij$
- $i, j$  - efectos principales para genotipos y ambientes respectivamente
- $i$  - efecto del de genotipo  $i$
- $j$  - efecto del ambiente  $j$
- $m$  - valor singular de orden  $m$
- $u_{mi}$  - coordenada  $i$ -ésima del vector singular asociado a  $m$
- $v_{mj}$  - coordenada  $j$ -ésima del vector singular asociado a  $m$
- $e_{ij}$  - residuo

A partir de este modelo, se construyó la representación bidimensional  $AMMI_1$  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. Como resultado del análisis ofrece dos figuras, la primera permite identificar la diferencia o similitud entre los ambientes de estudio, así como la interacción positiva de los sitios de prueba con los genotipos. La segunda entre sus interpretaciones brinda los cultivares más estables. Solo fue utilizada en la variable rendimiento de pol ya que es una variable estimada a partir del rendimiento de caña y el porcentaje de pol en caña.

**Clasificación y caracterización de los sitios de pruebas**

Para clasificar los ambientes se recopiló la información edafoclimáticas y de rendimiento

agroindustrial de los ensayos. Los valores de las variables de suelo fueron tomados del expediente de los perfiles de suelo (Cortegaza y Menéndez, 2010). En las precipitaciones se utilizó la información existente de las redes pluviométricas de CALESA, no se incluyen las lluvias de los meses de enero y febrero porque fueron nulas (Tabla 2).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de varianza (Tabla 3) puso de manifiesto que la interacción genotipo-ambiente resultó más importante que el propio efecto de los genotipos (excepto para el porcentaje de pol en caña), por lo que se debe analizar la respuesta de cada uno de ellos a través de cada sitio. Estos

resultados demostraron la importancia de evaluar los cultivares en diferentes condiciones de suelo y clima con el propósito de determinar la adaptación específica de los mismos para las distintas condiciones ambientales (Delgado *et al.*, 2012).

El efecto ambiental alcanzó el 66,78 % y 63,96 % de la variación total para el rendimiento agrícola y la producción de azúcar por hectárea respectivamente, además del 46,81 % en el porcentaje de pol en caña, lo que evidencia una menor contribución del mismo a este factor de variación. El mayor aporte de los genotipos a la variación fenotípica total (VFT) fue en el contenido azucarero (% de pol en caña 27,66 %) lo que se corresponde con lo reportado por Rodríguez *et al.* (2012).

**Tabla 2.** Variables empleadas en la caracterización de los ambientes

Variables	Nombre abreviado	Variables	Nombre abreviado
rendimiento de caña	t caña ha <sup>-1</sup>	Lluvia de mayo	Ll mayo
porcentaje de pol en caña	% pol en caña	Lluvia de Junio	Ll junio
rendimiento de pol	t pol ha <sup>-1</sup>	Lluvia de Julio	Ll julio
Materia Orgánica	M.O.	Lluvia de Agosto	Ll agosto
pH KCl	pH KCl	Lluvia de Septiembre	Ll septiembre
Cobre	Cu	Lluvia de Octubre	Ll octubre
Hierro	Fe	Lluvia de Noviembre	Ll noviembre
Manganeso	Mn	Lluvia de Diciembre	Ll diciembre.
Zinc	Zn	Lluvia de Mayo- Octubre	Ll mayo-octubre.
Lluvia de Marzo	Ll marzo	Lluvia de Noviembre- Abril	Ll noviembr- abril
Lluvia de Abril	Ll abril	Lluvia total	Ll total

t - toneladas

**Tabla 3.** Componentes de varianza para las variables estudiadas, modelo reducido (Primer retoño)

Componentes de varianza	t caña ha <sup>-1</sup>				% de pol en caña				t pol ha <sup>-1</sup>			
	s <sup>2</sup>	±	E.S.	PVFT	s <sup>2</sup>	±	E.S.	PVFT	s <sup>2</sup>	±	E.S.	PVFT
s <sup>2</sup> g	0	±		0	0,13	±	0,06*	27,66	0,03	±	0,05	0,8
s <sup>2</sup> l	49,29	±	38,12	25,7	0,04	±	0,04	8,51	0,65	±	0,52	17,62
s <sup>2</sup> gxl	64,97	±	20,90*	33,18	0,12	±	0,01*	25,53	1,30	±	0,42*	35,23
s <sup>2</sup> e	81,55	±	7,38*	41,65	0,18	±	0,02*	38,30	1,71	±	0,15*	46,34
VG				0				27,66				0,8
VA				66,78				46,81				63,96
VGA				33,18				25,53				35,23
he <sup>2</sup>	0				0,68	±	0,32*		0,05	±	0,08	
CVG (%)	0				2,61				1,64			
Media	76,38	±	5,21		13,84	±	0,25		10,57	±	0,76	

s<sup>2</sup> = componente de varianza (g - genética, l - localidad, gxl - genotipo x localidad, e - error), Varianza (VG - Genética, VA - ambiental y VGA - genotipo x ambiente), he<sup>2</sup> - heredabilidad, CVG - Coeficiente de variación genética, E.S. - Error estándar, PVFT - Porcentaje variación fenotípica total, \* - estimados precisos s<sup>2</sup> ≥ 2 E.S.

Los mayores estimados de heredabilidad se alcanzaron para el porcentaje de pol en caña, lo que confirma el incremento de la variabilidad de este carácter a finales de zafra, esto puede ser debido a una mayor contribución del componente de la varianza genética y a una disminución de la varianza de la interacción genotipo - ambiente. La mayor heredabilidad del contenido azucarero respecto a las t caña ha<sup>-1</sup> y t pol ha<sup>-1</sup> coinciden con lo señalado por Jorge *et al.* (2014). El coeficiente de variación genético ofreció menos de una unidad porcentual de diferencia entre el porcentaje de pol en caña y las t pol ha<sup>-1</sup>, aunque ambos estimados ( $h^2$  y CGV) están influenciado por el componente de la varianza genética ( $s^2_g$ ), el primero está relacionado con la varianza fenotípica total ( $s^2_p$  total), mientras que el segundo con la media general del carácter.

Los resultados antes señalados argumentan la necesidad de encontrar cultivares de adaptación específica para cada uno de los ambientes. En este sentido, reviste gran importancia la replicación de los ensayos en tiempo (años y cepas) y espacio (sitios), para aprovechar eficientemente la interacción genotipo-ambiente, como lo señalaron Rodríguez *et al.* (2015).

Al analizar el modelo completo (Tabla 4), ratificó la importancia de las localidades dentro del componente ambiental, tanto para la producción de caña como para la de azúcar por área, mientras que las cepas lo fueron para el contenido azucarero. La interacción genotipo-ambiente, expresada como genotipo x localidad x cepa (modelo completo) fue significativa y precisa, aseverando que es más práctico seleccionar cultivares de respuesta específica.

Los componentes ambientales constituyeron los factores de variación más importantes (52,43 a 81,16 %) en las tres variables, el mayor peso recayó en la  $s^2_e$  que representó entre el 29 – 42 % de la variación total. Milligan *et al.* (1990), en estudios multiambientales reportaron que la  $s^2_e$  aportó entre 27 al 45 % de la varianza fenotípica total, atribuyéndolo al diseño experimental utilizado (Bloque al azar), estos autores señalaron además que su reducción podía lograrse con una mayor replicación en tiempo y espacio de los cultivares, Chavane *et al.* (2007) en las condiciones de Tucumán en estudios de interacción genotipo ambiente en la etapa final de selección para la variable porcentaje de pol en caña, alcanzaron que la  $s^2_e$  significó el 25 % de la variación. Jorge (1997) en la etapa clonal señaló que la  $s^2_e$  tributó entre el 55 – 94 % de

la variación total fundamentando que esto pudo ser explicable por las características del diseño experimental en el cuál el componente dentro de grupos es de carácter mixto y se compone por el remanente de la varianza genética después de haber sido extraída la covarianza de hermanos completos y por la varianza experimental del error (Falconer, 1970).

El mayor aporte a la variación ambiental para las tres variables lo hizo la varianza del error (expresado anteriormente), seguido de las localidades para la producción de caña y de azúcar, mientras que para el porcentaje de pol en caña lo fueron las cepas; lo que expresa la influencia de estos factores del ambiente cuando se utilizan localidades contrastantes.

El porcentaje de pol en caña continuó siendo el de la mayor expresión genética (18,29 %) así como el mayor estimado de heredabilidad (0,71), por lo que es de esperar un mayor avance por selección para el mismo como lo señaló Delgado *et al.* (2015), no así para el rendimiento agrícola y la producción de azúcar cuyas contribuciones a la variación total fueron de 2,57 y 2,31 % respectivamente. Estos resultados reflejan la escasa variabilidad genética para estos caracteres, aspecto que ha sido reportado por varios autores (Milligan *et al.*, 2003 y Puchades *et al.*, 2009).

### Análisis de estabilidad

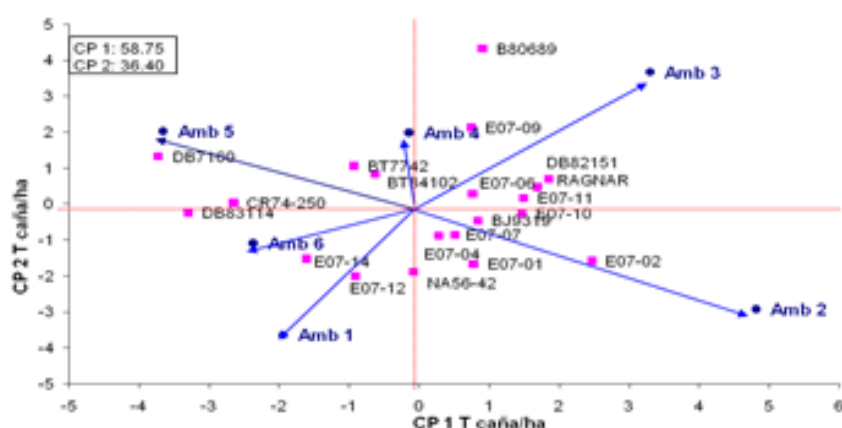
El modelo AMMI para las t caña ha<sup>-1</sup> (Figura 1) expresó que las dos primeras componentes extrajeron el 95,15 % de la varianza contenida en los genotipos y en la interacción genotipo ambiente (IGA). Se observó que los ambientes de estudios están bien diferenciados, el ambiente 4 tuvo interacción positiva con el cultivar BT7742, DB7160 se adaptó al ambiente 5, los genotipos DB83114 y E07-14 al ambiente 6 y E07-02 presentó adaptabilidad al ambiente 2, aunque expresó la segunda producción de caña más baja. Estos resultados corroboran lo reportado por Rodríguez *et al.* (2010) quienes señalaron la adaptabilidad de cultivares en ambiente específicos.

En el porcentaje de pol en caña, las dos primeras componente contribuyeron con el 86,54 % de la varianza contenida en el efecto de los genotipos más la interacción genotipo ambiente (IGA) (Figura 2), se apreció también un comportamiento diferenciado de cinco ambientes y similitud entre el ambiente 2 y el 3 para este carácter que se corresponden con

**Tabla 4.** Componentes de varianza, para las variables estudiadas. Modelo ampliado

Componentes de varianza	t caña ha <sup>-1</sup>				% de pol en caña				t pol ha <sup>-1</sup>			
	s <sup>2</sup>	±	E.S.	PVFT	s <sup>2</sup>	±	E.S.	PVFT	s <sup>2</sup>	±	E.S.	PVFT
s <sup>2</sup> g	8,31	±	8,87	2,57	0,15	±	0,06*	18,29	0,14	±	0,17	2,31
s <sup>2</sup> l	105,08	±	76,14	32,56	0,04	±	0,04	4,89	1,51	±	1,10	24,92
s <sup>2</sup> c	10,12	±	14,98	3,14	0,11	±	0,11	13,41	0,62	±	0,60	10,23
s <sup>2</sup> gxl	10,60	±	15,02	3,28	0,03	±	0,05	3,66	0,30	±	0,28	4,95
s <sup>2</sup> gxc	1,28	±	3,42	0,40	0,02	±	0,04	2,44	0,09	±	0,11	1,49
s <sup>2</sup> lxc	17,27	±	15,20	5,35	0,04	±	0,04	4,89	0,23	±	0,22	3,80
s <sup>2</sup> gxlxc	40,63	±	19,1*	12,59	0,19	±	0,07*	23,17	0,63	±	0,28*	10,40
s <sup>2</sup> e	129,45	±	8,32*	40,11	0,24	±	0,06*	29,27	2,54	±	0,17*	41,91
VG				2,57				18,29				2,31
VA				81,16				52,43				80,86
VGA				16,27				29,27				16,83
he <sup>2</sup>	0,31	±	0,34		0,71	±	0,29*		0,26	±	0,31	
CVG (%)	3,93				2,84				4,0			
Media	73,43	±	6,48		13,59	±	0,25		9,97	±	0,90	

s<sup>2</sup> = componente de varianza (g: genética, l: localidad, cep: cepa, gxl: genotipo x localidad, gxc: genotipo x cepa, lxc: localidad x cepa, gxlxc: genotipo x localidad x cepa, e: error); Varianza (VG: Genética, VA: ambiental y VGA: genotipo x ambiente); he<sup>2</sup>: heredabilidad, CVG: Coeficiente de variación genética; E.S.: Error estándar, PVFT: Porcentaje variación fenotípica total, \*: estimados precisos s<sup>2</sup> ≥ 2 E.S.

**Figura 1.** Representación bidimensional del comportamiento de los genotipos en los seis ambientes (t caña ha<sup>-1</sup>)

los campos 998 en retoño y 660 en caña planta. Las dos primeras componentes para las t pol ha<sup>-1</sup> (Figura 3) aportaron el 88,4 % de la varianza contenida en el efecto de los genotipos más la IGA, la diferenciación entre los ambientes de estudio se comportó de forma similar que para las t caña ha<sup>-1</sup>. Los cultivares Na56-42, BT84102, E07-04 y E07-09 resultaron estables con rendimientos superiores a la media del carácter. El genotipo DB83114 tuvo mejor adaptación al ambiente 6 (Campo 100, retoño), con una producción de azúcar hectárea superior a la media del carácter.

### Evaluación de los sitios de pruebas a partir de ensayos multiambientales

El análisis de componentes principales, con 22 variables de suelo, clima y rendimiento evaluadas (Tabla 5) durante el desarrollo del estudio, en su conjunto mostró, en las tres primeras componentes, el 84,61 % de la variabilidad total de los datos. En la primera componente las variables de mayor contribución resultaron ser las precipitaciones, tales como las lluvias de los meses de junio, mayo, marzo, septiembre, octubre, diciembre, y las del período

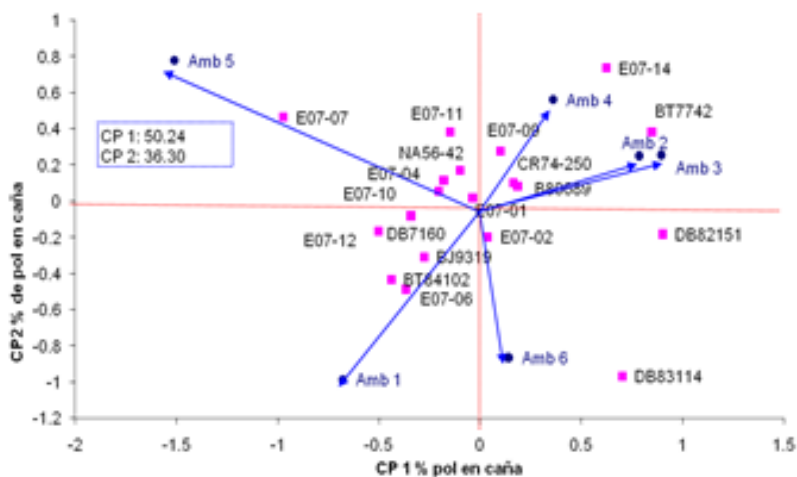


Figura 2. Representación bidimensional del comportamiento de los genotipos en los seis ambientes (% de pol en caña)

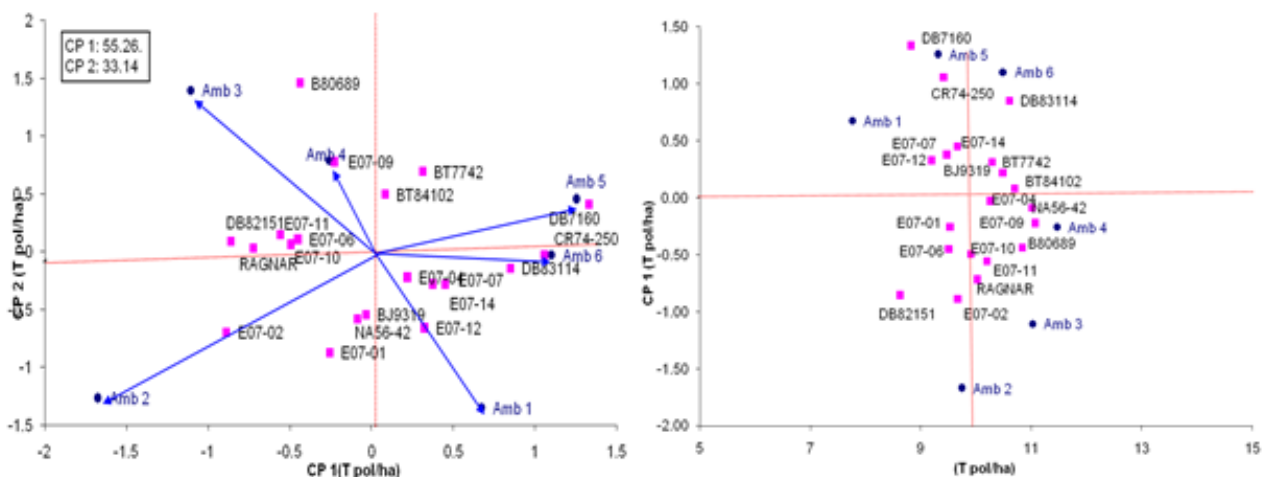


Figura 3. Representación bidimensional del comportamiento de los genotipos en los seis ambientes (t pol ha<sup>-1</sup>)

de noviembre a febrero, seguido por la lluvia de noviembre, y las variables de suelo (M.O., Zn, CU, Mn, y Fe).

Las variables más significativas en la segunda componente fueron las lluvias de abril y las del período de mayo a octubre. También resultaron reveladoras, las variables correspondientes a las características químicas del suelo como el contenido de cobre (Cu), zinc (Zn) y hierro (Fe).

Para la tercera componente las variables de mayor repercusión fueron las precipitaciones del mes de julio, la acidez del suelo (pH KCl), la producción de caña por hectárea y las lluvias del mes de agosto, así como las toneladas de azúcar por hectárea y la presencia de manganeso (Mn) en el suelo. En esta componente el contenido

azucarero se relaciona de forma negativa con el rendimiento agrícola y las lluvias, excepto con las precipitaciones de los meses de marzo, octubre y diciembre, coincidiendo mayoritariamente estos resultados con los logrados por Rodríguez (2012).

Para la evaluación de genotipos se necesita contar con ambientes contrastantes, por lo que es de gran utilidad disponer de las variables de rendimiento agroazucarero, las del clima y las del suelo. Estas últimas expresan mayor variabilidad, de ahí su importancia en la clasificación de los sitios de prueba (Caraballosa *et al.*, 2012 y Rodríguez *et al.*, 2012).

La evaluación de los cultivares y ambientes en función de los componentes uno y dos, condujo a la formación de dos grandes grupos que se

**Tabla 5.** Análisis de componentes principales para la caracterización de los sitios de pruebas, valores y vectores propios

	CP1	CP2	CP3
Valor propio	7,62	6,66	4,33
% Variación total	34,62	30,29	19,70
% Acumulado	34,62	64,91	84,61
Vectores propios			
t caña ha-1	0,12	0,09	0,31
% pol en caña	0,09	0,07	-0,20
t pol ha-1	0,15	0,11	0,25
M.O.	0,23	-0,26	0,15
pH KCl	0,15	-0,09	0,38
Cu	0,22	-0,28	0,03
Zn	0,23	-0,28	0,07
Mn	0,22	-0,22	0,25
Fe	0,22	-0,28	0,02
LL marzo	0,29	-0,14	-0,17
LL abril	0,15	0,34	0,20
LL mayo	-0,31	-0,05	0,20
LL junio	-0,33	-0,09	0,05
LL julio	0,17	0,04	0,40
LL agosto	0,02	0,25	0,30
LL septiembre	-0,27	-0,10	0,24
LL octubre	0,25	0,26	-0,13
LL noviembre	-0,23	-0,26	0,18
LL diciembre	-0,25	-0,20	-0,13
LL mayo - octubre	-0,04	0,32	0,18
LL noviembre - febrero	-0,25	-0,26	0,11
LL total	-0,16	0,22	0,26

corresponden con las dos cepas evaluadas, lo que denota el comportamiento diferenciado entre las mismas, dentro cada cepa fueron notables las disimilitudes por lo que se crearon seis subgrupos, que pertenecen a los seis ambientes estudiados. Los genotipos se agruparon de manera compacta salvo entre los ambientes 2 y 4 donde hubo un pequeño solapamiento entre un reducido número de cultivares.

## CONCLUSIONES

El efecto ambiental y la interacción genotipo-ambiente fueron superiores al de los genotipos en la contribución a la variación fenotípica total, lo que justifica la búsqueda de cultivares de adaptación específica a través de los diferentes sitios de pruebas.

Los cultivares E07-04, E07-09, BT84102 y Na56-42 en la variable t pol ha<sup>-1</sup> resultaron estables y adaptadas a las diferentes condiciones ambientales donde fueron evaluados por lo que se recomienda su rápida propagación y explotación en el Ingenio Ofelina.

El análisis de componentes principales ofreció la formación de seis grupos

diferentes los que se corresponden con los ambientes evaluados, existiendo un pequeño solapamiento de algunos genotipos entre los ambientes 2 y 4.

## BIBLIOGRAFÍA

- CARABALLOSA, V., H. GARCÍA, H. JORGE y N. BERNAL. 2012. Influencia de la Interacción Genotipo por Ambiente sobre algunas variables de la Floración de la caña de azúcar en la Región central de Cuba. Centro Agrícola, 39 (4): 55-61.
- CHAVANE, E. R., S. OSTENGO, M. B. GARCÍA y M. I. CUENYA. 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. de Tucumán, 84 (2): 19-24.
- CORTEGAZA, P. y A. MENÉNDEZ. 2010. Clasificación de los Suelos agrícolas del Ingenio Ofelina. Memorias de



- Investigaciones. Gerencia de Campo. Volumen 1-3, Aguadulce, Panamá, 856 p.
- DELGADO, I., H. JORGE, A. VERA, A. CÉSPEDES, I. TORRES, R. CRUZ (*et al.*). 2015. Los momentos de cosecha en la caña de azúcar y la en cinco ambientes de Cuba. *Centro Agrícola*, 42 (1): 63-68.
- DELGADO, I., H. JORGE, H. GARCÍA, N. BERNAL, F. R. DÍAZ, A. BERNAL (*et al.*). 2012. Potencialidades de familias de variedades de caña de azúcar para diferentes períodos de zafras en Cuba. *Cultivos Tropicales*, 33 (3): 5-14.
- FALCONER, D.S. 1970. *Introducción a la Genética Cuantitativa*. CECSA, México, pp. 225-283.
- GAUCH, H.G. 2006. Statistical Analysis of Yield Trials by AMMI and GGE. *Crop Sci.*, 46:1488–1500.
- HOGARTH, D.M. 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.
- JACKSON, P. A. 2005. Breeding for improved sugar content in sugarcane. *Field Crops Res.*, 92: 277–290.
- JORGE, H. 1997. Estudio Genético de los Componentes Agroazucareros en las Etapas Clonales del Esquema de Selección partiendo de “Posturas Aviveradas de Caña de Azúcar (*Saccharum spp.*)”. Tesis en opción al grado de doctor en Ciencias Agrícolas. Ministerio de Educación Superior, Universidad Agraria de la Habana, 100 p.
- JORGE, H., I. DELGADO, A. VERA, J.R. GÓMEZ, A. CÉSPEDES, J. C. PÉREZ (*et al.*) 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., I. JORGE, J.M. MESA y N. BERNAL. 2011. Normas y Procedimientos del Programa de Mejoramiento Genético de la Caña de Azúcar en Cuba. PUBLINICA, La Habana, Cuba, 346 p.
- KANG, M. S. 1998. Using genotype-by-environment interaction for crop cultivar development. *Advance in Agronomy*, 62: 199-253.
- MILLIGAN, S.B., M. BALZARINI, W.H. White. 2003. Broad-sense heritabilities, genetic correlations, and selection indices for sugarcane borer resistance and their relation to yield loss. *Crop Sci.*, 43:1729–1735.
- MILLIGAN, S.B., K.A. GRAVOIS, K.P. BISCHOFF and F.A. MARTIN. 1990. Crop effects on broad-sense heritabilities and genetic variances of sugarcane yield components. *Crop Sci.*, 30: 344–349.
- PUCHADES, Y., R. RODRÍGUEZ, J. ARTECHES, N. BERNAL, H. JORGE y M.T. CORNIDES. 2009. Base Genética de los cultivares de caña de azúcar explotados comercialmente en Cuba entre 1965 y 2008. *Ciencias en su PC*, (4): 71-87.
- REA, R., O. De SOUSA, M. RAMÓN, G. ALEJOS, A. DÍAZ, J. GEORGE, N. (*et al.*). 2014. Selección simultánea para rendimiento y estabilidad en genotipos de caña de azúcar en la región centro-occidental de Venezuela. *Bioagro*, 26 (3).
- 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, Ministerio de Educación Superior, Universidad Agraria de La Habana, Cuba, 121 p.
- RODRÍGUEZ, R., Y. PUCHADES, N. BERNAL, H. JORGE y H. GARCÍA. 2010. Contribución de las localidades en estudios multiambientales de caña de azúcar en la región oriental de Cuba determinada por el análisis del BIPLLOT GGE. En sitio web: [www.actaf.co.cu/revista/agrotecnia](http://www.actaf.co.cu/revista/agrotecnia) Consultado el 2010.

RODRÍGUEZ, R., Y. PUCHADES, N. BERNAL, H. JORGE y H. GARCÍA. 2012. Métodos Estadísticos Multivariados en el estudio de la Interacción Genotipo – Ambiente en la Caña de Azúcar. *Ciencias en su PC*, (1): 47-60.

RODRÍGUEZ, R., Y. PUCHADES, W. ABICHE, S. RILL, y H. JORGE. 2015. Estudio del rendimiento y modelación del período de madurez en nuevos cultivares de caña de azúcar. *Cultivos Tropicales*, 36 (4): 135-144.

---

Recibido el 28 de febrero de 2017 y aceptado el 2 de noviembre de 2017