

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN

## Selección de genotipos de caña de azúcar en áreas con estrés ambiental

### Selection of sugar cane genotypes in areas with environmental stress

Héctor Jorge Suárez<sup>1</sup>, Antonio Menéndez Sierra<sup>1</sup>, Randy Atencio Valdespino<sup>1</sup> e Irenaldo Delgado Mora<sup>2</sup>

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

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

*E-mail:* hjorgesuarez@gmail.com, irenaldo.delgado@inicavc.azcuba.cu

---

#### RESUMEN

Se presentan los resultados en áreas con estrés ambiental (Capellanía y La Palmita) en el Ingenio Ofelina, de la República de Panamá, cuyos factores limitantes son la sequía agrícola y el mal drenaje respectivamente. Para eso fueron estudiados 34 genotipos, 24 en la Localidad 1 y 29 en la 2, coincidiendo 18 en ambos sitios. Los ensayos se evaluaron en la cepa de primer retoño, las variables de cosecha estudiadas fueron: t caña ha<sup>-1</sup>, porcentaje de pol en caña y t pol ha<sup>-1</sup>. El análisis de componentes principales explicó el 85,50 % de la variación total y permitió caracterizar las localidades. Los genotipos de mejor comportamiento en la localidad 1 fueron B0072, CT-14, E07-11, CT-41 y E07-14, mientras que en la localidad 2 se destacaron los genotipos CP89-2143, CT-14 y E07-11, coincidiendo en ambos sitios E07-11 y CT-14. La mayor contribución a la varianza fenotípica total correspondió a los efectos ambientales para el porcentaje de pol en caña (83,15 %) y las t pol ha<sup>-1</sup> (47,62 %) mientras que para las t caña ha<sup>-1</sup> fue la interacción genotipo ambiente.

**Palabras clave:** cultivares, factores limitantes, mal drenaje, *Saccharum officinarum*, sequía

#### ABSTRACT

The results are presented in areas with environmental stress (Capellanía and La Palmita) in the Ingenio Ofelina of Panama, whose limiting factors are drought and bad drainage respectively. 34 genotypes were studied, 24 in Locality one and 29 in the two, coinciding 18 in both sites. The trials were evaluated in the first shoot strain, the harvest variables studied were, t ha<sup>-1</sup> cane, percentage of pol in cane and t pol ha<sup>-1</sup>. As a result, the analysis of main components explained 85.50 % of the total variation and allowed to characterize the localities. The cultivars with the best performance in Locality one were B0072, CT-14, E07-11, CT-41 and E07-14, while the cultivars CP89-2143, CT-14 and E07-11 stood out in the 2, coinciding in both sites E07-11 and CT-14. The highest contribution to the total phenotypic variance corresponded to the environmental effects for the percentage of pol in cane (83.15 %) and t pol ha<sup>-1</sup> (47.62 %) while for the cane ha<sup>-1</sup> it was the interaction genotype environment.

**Keywords:** cultivars, limiting factors, bad drainage, *Saccharum officinarum*, genotypes, drought

---

## INTRODUCCIÓN

El cambio climático ha originado fenómenos que afectan la producción agrícola, entre los problemas más comunes están las prolongadas sequías y las afectaciones por mal drenaje. Centella *et al.* (2002) señaló que la sequía es un período de condiciones meteorológicas anormalmente secas, suficientemente prolongado como para que la falta de precipitaciones cause un gran desequilibrio hidrológico. Sin embargo, existen otras definiciones de sequía como objetivos para definirla (agrícola, hidrológica, meteorológica, etc.) empero, un denominador común es la escasez de precipitaciones respecto a un comportamiento normal (valor promedio histórico obtenido a partir de una serie de longitud determinada). Según Pérez (2004) sequía es el déficit de agua y sequía agrícola es cuando la humedad del suelo es tan baja que limita el crecimiento y la producción de los cultivos, argumenta conjuntamente que puede no haber sequía y existir sequía agrícola porque la reserva de humedad depende del tipo de suelo y del cultivo, más que de las precipitaciones.

Por otra parte, el exceso de agua en el suelo causa (en dependencia del suelo, cultivo y su duración) diferentes afectaciones por las limitaciones con el oxígeno necesario para la respiración. Los problemas de mal drenaje natural en áreas agrícolas, pueden ser ocasionados por numerosos factores: lluvias excesivas por tiempo prolongado, condiciones topográficas desfavorables, desbordamiento de ríos y arroyos, baja capacidad de infiltración del agua en algunos suelos que presentan estratos cercanos a la superficie casi impermeable y ascensos prolongados de las aguas subterráneas hasta alcanzar niveles cercanos a la superficie del terreno (Magalhães *et al.*, 2000). Esta problemática necesita del conocimiento de aspectos fundamentales y la respuesta de los cultivos a estas condiciones (Razi e Iberahim, 2003).

En ese contexto, una de las soluciones más prácticas y económicas es la obtención de genotipos con cierto grado de tolerancia, mediante el desarrollo de programas de mejoramiento genético, a la sequía. Para eso es necesario acercar lo más posible, los ambientes de selección de los genotipos (cultivares) a los ambientes de destino (Jorge *et al.*, 2010) por lo que el objetivo de este trabajo fue evaluar 34 genotipos de caña de azúcar en condiciones contrastantes de estrés ambiental (Sequía y Mal drenaje).

## MATERIALES Y MÉTODOS

Los experimentos fueron plantados durante el período junio – julio de 2012, en áreas de reciente incorporación al proceso productivo Capellanía (área de colono, localidad 1), y La Palmita (localidad 2), sobre suelos Ferralítico cuarcítico y vertisuelos respectivamente, según lo reportado por Cortegaza y Menéndez (2010), cuyos factores limitantes son: sequía agrícola y mal drenaje correspondientemente. Sobre los mismos fueron evaluados 34 genotipos en total, 24 en la localidad 1 y 29 en la 2. Se emplearon como control (testigos) los genotipos CR74-250, BT7742 y B74125 en la localidad 2 mientras que en la localidad 1 solo fue utilizado el primero (Tabla 1) coincidiendo 18 genotipos en ambos sitios evaluados. El diseño utilizado fue bloques completos al azar con tres repeticiones y un tamaño de parcela de 48 m<sup>2</sup>. Los ensayos se evaluaron en la cepa de primer retoño (cepa más representativa para la recomendación de variedades), las variables de cosecha estudiadas fueron toneladas de caña por hectárea (t caña ha<sup>-1</sup>), porcentaje de pol en caña (PPC) y toneladas de pol por hectárea (t pol ha<sup>-1</sup>). La cosecha en Capellanía se realizó a finales del mes de enero mientras la de La Palmita se realizó a mediados de febrero.

### Clasificación de las Localidades de Estudios

Para la realización del mismo se utilizaron un grupo de variables medidas previa a la cosecha de los ensayos, estas fueron:

- Longitud del tallo (hasta el primer dewlap visible)
- Diámetro del tallo (centro del tallo)
- peso promedio de un tallo
- porcentaje de pol en caña
- Pureza
- tallos por metro lineal (tallos m<sup>-1</sup> lineal) (se tomaron en los dos surcos centrales de cada parcela)
- t caña ha<sup>-1</sup>
- t pol ha<sup>-1</sup>

El rendimiento agrícola se determinó por el peso directo de las cañas de cada parcela con un dinamómetro acoplado a una alzadora.

Se emplearon técnicas multivariadas para la clasificación de ambientes (Análisis de Componentes Principales) y la clasificación de las variables de las localidades de estudio, posteriormente se realizaron análisis de varianza

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

Nº	Cultivares	Localidad	Nº	Cultivares	Localidad	Nº	Cultivares	Localidad
1	B0072	1 y 2	13	E07-14	1 y 2	25	BR9501	2
2	SP81-3250	1 y 2	14	LAICA03-805	1 y 2	26	BT7742 (testigo)	2
3	CP89-2143	1 y 2	15	LAICA05-811	1 y 2	27	BT88504	2
4	CR74-250 (testigo)	1 y 2	16	SP01-2050	1 y 2	28	C86-456	2
5	CT-14	1 y 2	17	SP70-1284	1 y 2	29	C90-469	2
6	CT-17	1 y 2	18	SP81-2086	1 y 2	30	E07-01	2
7	CT-9	1 y 2	19	RB75-126	1y2	31	E07-06	2
8	CTC-17	1 y 2	20	BBZ92116	1	32	LAICA05-802	2
9	CTC-9	1 y 2	21	C90-317	1	33	NA56-42	2
10	DB9368	1 y 2	22	RB83-5486	1	34	B74125 (testigo)	2
11	E07-09	1 y 2	23	CT-17	1			
12	E07-11	1 y 2	24	DB83114 (testigo)	1			

de efecto fijo para determinar el comportamiento de los genotipos respecto a las tres variables estudiadas, en los casos con significación estadística se procedió a realizar un análisis de reagrupamiento (Clúster) para conocer la similitud y/o diferencia entre los genotipos y seleccionar los de mejor comportamiento en cada sitio, técnica que coincide con el procedimiento usado por Delgado *et al.* (2016).

Además, se realizó un análisis de varianza de efectos aleatorios para estimar los componentes de varianza y la contribución de cada uno de ellos (genotipos y localidades), así como sus

interacciones a la variación fenotípica total. En el procedimiento se utilizó el modelo reducido descrito por Milligan *et al.* (1990). Para el procesamiento estadístico de toda la información se dispuso del paquete estadístico STATGRAFHICS PLUS ver. 5.0.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de componentes principales identificó las ocho variables, cinco de ellas relacionadas con las características morfológicas y tres con el rendimiento agroazucarero. Estas

**Tabla 2.** Análisis de componentes principales para la caracterización de los sitios evaluados

	Componente 1	Componente 2	Componente 3
Valor propio	3,43	1,81	1,60
% Variación total	42,89	22,58	20,03
% Acumulado	42,89	65,47	85,50
Vectores propios			
Longitud	<u>0,38</u>	0,31	0,06
Diámetro	0,33	-0,02	-0,42
Peso del tallo	<u>0,42</u>	-0,29	-0,35
% de pol encaña	0,35	<u>0,46</u>	0,26
Pureza	0,30	<u>0,41</u>	0,27
Tallos m <sup>-1</sup> lineal	-0,16	-0,26	<u>0,66</u>
t caña ha <sup>-1</sup>	0,35	<u>-0,54</u>	0,19
t pol ha <sup>-1</sup>	<u>0,45</u>	-0,29	0,29

variables caracterizaron fehacientemente las localidades. Los tres primeros componentes agruparon el 85,50 % de la variación total de los datos (Tabla 2). En la primera componente las variables de mayor peso son las t pol ha<sup>-1</sup>, el peso promedio del tallo y la longitud. Las de mayor contribución en el segundo componente son las t caña ha<sup>-1</sup> el PPC y la pureza, estas dos últimas en sentido contrario a la primera. Sin embargo, las variables que resultan relevantes en el tercer componente son el número de tallos por metro

lineal y el diámetro que se relacionan de forma inversa, por lo cual todas resultan de interés en el análisis.

La Figura 1 muestra la representación gráfica del análisis de componentes principales donde se forman dos grupos que se corresponden con las localidades objeto de estudio por lo que es de esperar una respuesta diferenciada de los cultivares ante disímiles condiciones. Los resultados de las Tabla 3 y 4 reflejan que existen diferencias altamente significativas en ambos

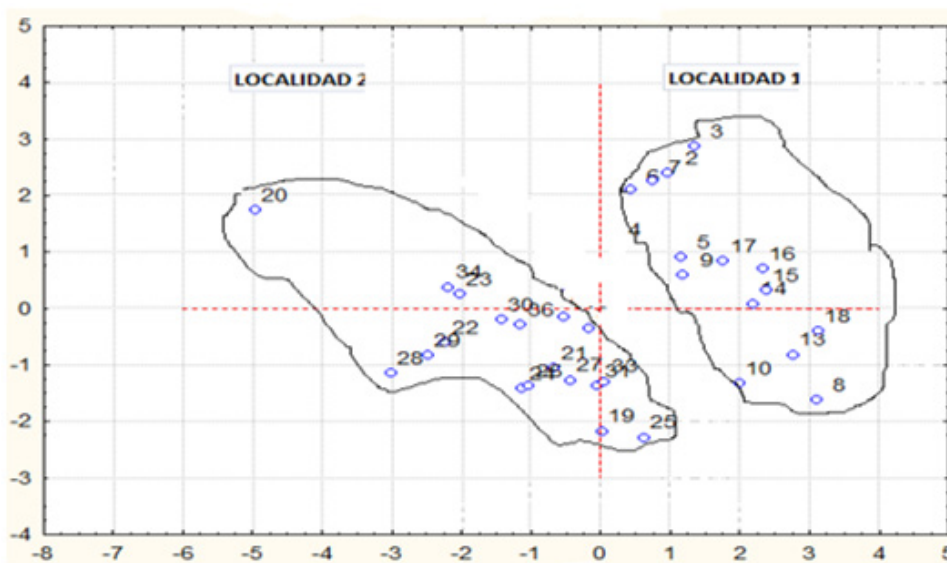


Figura 1. Representación gráfica de la primera y segunda componente

Tabla 3. Análisis de varianza para las variables evaluadas. Localidad Capellanía (sequía agrícola)

	t caña ha <sup>-1</sup>	% de pol en caña	t pol ha <sup>-1</sup>
<b>F. Variación</b>	<b>CM Sig.</b>	<b>CM Sig.</b>	<b>CM Sig.</b>
Variedades	492,65 **	2,10 **	10,33 **
Error	126,64	0,57	2,50
X ± E.S.	62,59 ± 6,50	13,51 ± 0,44	8,45 ± 0,91

CM: Cuadrados medios, Sig. Significación, \*\* Significación al 1 %

Tabla 4. Análisis de varianza para las variables evaluadas. Localidad La Palmita (mal drenaje)

	t caña ha <sup>-1</sup>	% de pol en caña	t pol ha <sup>-1</sup>
<b>F. Variación</b>	<b>CM Sig.</b>	<b>CM Sig.</b>	<b>CM Sig.</b>
Variedades	433,52 **	0,99 **	11,50 **
Error	27,25	0,15	0,76
X ± E.S.	65,63 ± 3,01	15,28 ± 0,22	10,05 ± 0,50

CM: Cuadrados medios, Sig. Significación, \*\* Significación

sitios de pruebas para los genotipos evaluados. De los genotipos evaluados resultan seleccionados B0072, CT-14, E07-11, CT-41 y E07-14 en la localidad 1 (Capellanía), todos formaron un mismo grupo (Figura 1) que alcanzó las mayores medias, superando a DB83114 y CR74-250 (genotipos utilizados como control).

En la Localidad 2 (La Palmita) los genotipos elegidos son CP89-2143, CT-14 y E07-11, quienes formaron el grupo III (el de mayor potencial cañero y azucarero), superando a los testigos BT7742, B74125 y CR74-250 (Figura 2). Es de destacar el comportamiento estable de E07-11 y CT-14 en ambas condiciones de estrés, lo que las reafirma como genotipos de relativa estabilidad para esas condiciones.

El análisis de varianza de efectos aleatorios (Tabla 5) puso de manifiesto que la interacción genotipo - ambiente resultó ser más importante que el propio efecto de los genotipos, por lo que es de esperar respuestas diferentes según

el sitio de estudio. Estos resultados demuestran la importancia de evaluar los genotipos en diferentes condiciones de suelo y clima con el propósito de aprovechar la adaptación específica en las distintas condiciones ambientales como lo reportó Jorge *et al.* (2014) y Rodríguez *et al.* (2015).

La contribución a la varianza fenotípica total fue superior en los efectos ambientales para el porcentaje de pol en caña (83,15 %) y las t pol ha<sup>-1</sup> (47,62 %), mientras que para las t caña ha<sup>-1</sup> fue la interacción genotipo ambiente, lo que ratifica el comportamiento diferencial de los genotipos en la producción cañera para las dos condiciones contrastantes (Figura 3). La alta contribución del ambiente para el contenido azucarero se debe a que la cosecha en la localidad 1 se realizó a finales del mes de enero, donde hay mayor variabilidad entre los genotipos y el porcentaje de pol en caña es menor, sin embargo, en la localidad 2 se realizó durante el período en

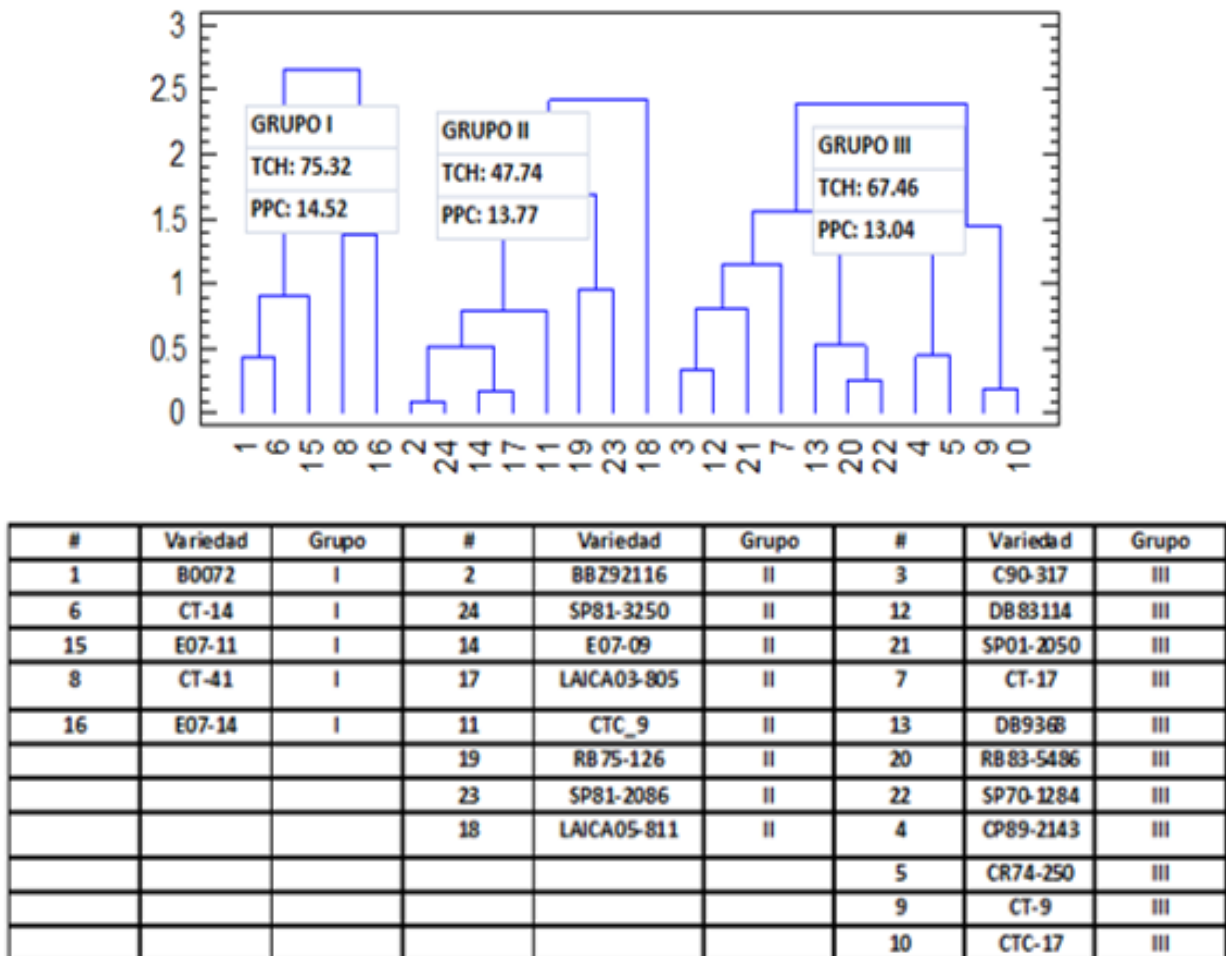
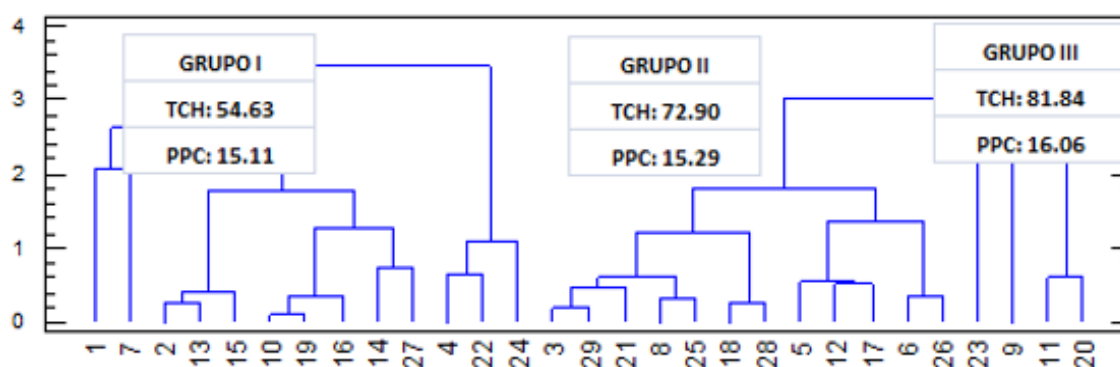


Figura 2. Agrupamiento de los cultivares en las condiciones de sequía agrícola respecto a las variables agroazucareras evaluadas

**Tabla 5.** Componentes de varianza para las variables estudiadas

Componente de varianza	t caña ha <sup>-1</sup>			% de pol en caña			t pol ha <sup>-1</sup>		
	$\sigma^2$	E.S	PVFT	$\sigma^2$	E.S	PVFT	$\sigma^2$	E.S	PVFT
$\sigma^2g$	38,72	±42,37	17,24	0,20	0,14	7,5	0,77	0,91	12,60
$\sigma^2l$	0	0	0	1,85	1,53	69,29	1,30	1,20	21,28
$\sigma^2gxl$	109,14	43,68*	48,59	0,25	0,13	9,36	2,43	0,96*	39,37
$\sigma^2e$	76,73	8,92*	34,16	0,37	0,04*	13,86	1,61	0,2*	26,25
VG			17,24			7,5			12,60
VA			34,16			83,15			47,62
VGA			48,59			9,36			39,77

$\sigma^2$  = mponente de varianza (g: genética, l: localidad, gxl: genotipo x localidad, e: error); Varianza (VG: Genética, VA: ambiental, VGA: genotipo x ambiente, E.S: Error estándar, PVFT: Porcentaje variación fenotípica total, \*: estimados precisos  $\sigma^2 \geq 2$  E.S.



#	Variedad	Grupo	#	Variedad	Grupo	#	Variedad	Grupo
1	E0072	I	3	RB75-126	II	9	CP89-2143	III
7	C46-456	I	29	SP81-2086	II	11	CT-14	III
2	B74125	I	21	E07-14	II	20	E07-11	III
13	CT-9	I	8	C90-469	II			
15	CTC-17	I	25	NA56-42	II			
10	CR74-250	I	18	E07-06	II			
19	E07-09	I	28	SP70-1284	II			
16	DB9368	I	5	BT7742	II			
14	CTC-9	I	12	CT-17	II			
21	SP91-2050	I	11	LU1-01	II			
4	BR9501	I	6	BT88504	II			
22	LAICA03-805	I	26	SP8-3250	II			
24	LAICA05-802	I	23	LAICA03-805	II			

**Figura 3.** Agrupamiento de los cultivares en las condiciones de mal drenaje respecto a las variables agroazucareras evaluadas

el que los genotipos incrementan su contenido azucarero y la diferenciación entre ellas es menor.

## CONCLUSIONES

El análisis de componentes principales explicó el 85,50 % de la variación total, lo que permitió caracterizar los sitios estudiados porque las ocho variables usadas fueron importantes en las tres primeras componentes.

El análisis de componentes principales corroboró las diferencias entre las localidades evaluadas y ratifica la necesidad de evaluar los genotipos en ambos tipos de estrés, con vista a acercar los sitios de selección a los ambientes de destino.

Los cultivares de mejor comportamiento en las áreas de sequía agrícola (localidad 1) fueron B0072, CT-14, E07-11, CT-41 y E07-14, mientras que en las de mal drenaje (localidad 2) se destacaron los cultivares CP89-2143, CT-14 y E07-11, coincidiendo en ambos sitios la E07-11 y la CT-14.

La mayor contribución a la varianza fenotípica total correspondió a los efectos ambientales para el porcentaje de pol en caña (83,15 %) y las t pol ha<sup>-1</sup> (147,62 %) mientras que para las t caña ha<sup>-1</sup> lo fue la interacción genotipo ambiente.

## BIBLIOGRAFÍA

- CENTELLA, A., LAPINEL, B., SOLANO, O., VÁZQUEZ R., FONSECA, C., *et al.* 2006. La sequía meteorológica y agrícola en Cuba y la República Dominicana. Programa de Desarrollo de las Naciones Unidas (PNUD), 174 pp.
- CORTEGAZA, P. y A. MENÉNDEZ. 2010. Clasificación de los Suelos agrícolas del Ingenio Ofelina. Volumen 1-3. Aguadulce, Panamá, Memorias de Investigaciones, Gerencia de Campo, 856 p.
- DELGADO, I., H. JORGE, A. VERA, M.T. CORNIDE, F.R. DÍAZ, J. GÓMEZ, *et al.* 2016. Influencia de la edad y cultivar de caña de azúcar en el momento de la cosecha. *Centro Agrícola*, 43 (2): 59-65, ISSN: 0253-5785.
- JORGE, H., I. DELGADO, A. VERA, R. J. GÓMEZ, R. F. DÍAZ, A. CÉSPEDES, *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., H. GARCÍA, I. JORGE, N. BERNAL, A. MARRERO, I. DELGADO, *et al.* 2010. Red experimental para el desarrollo de las investigaciones de la caña de azúcar en Cuba. *Rev. Cuba & Caña*, 2: 33-48.
- MAGALHÃES, P.C., F. DURAES, P. VITORINO, J.D. ALVES y E. GAMA. 2000. Adaptación del maíz a condiciones de estrés por encharcamiento. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (CORPOICA), vol. 2, p. 8.
- MILLIGAN, S.B., K.A. GRAVOIS, K.P. BISHOFF and F.A. MARTIN. 1990. Crop effects on broad-sense heritability and genetic variances of sugarcane yield components. *CropSci.*, 30: 344-349.
- PÉREZ, J.R., I.A. CUELLAR, M.E. DE LEÓN, M. SANTANA, J.R. FONSECA y M. PÉREZ. 2004. Caña de Azúcar: Captación, conservación y manejo sostenible del agua y la humedad del suelo. Serie caña de Azúcar Siglo XXI. Revista Cuba & Caña, Suplemento especial, 43 p.
- RAZI, S. e I. IBERAHIM. 2003. Towards sustainable management of environmental stress for crop production in the tropics. *Food, Agriculture & Environment*, 3 (4): 300-303.
- 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 14 de mayo de 2018