

INFLUENCIA DEL AMBIENTE EN LA FLORACIÓN DE LA CAÑA DE AZÚCAR (*SACCHARUM SPP.*) EN LA REGIÓN CENTRAL DE CUBA

Víctor Carabaloso ¹, Héctor García ¹, Héctor Jorge ¹, Norge Bernal ¹

¹ *Instituto Nacional de Investigaciones de la caña de azúcar (INICA)*

RESUMEN

La floración es una cadena de procesos fisiológicos complejos en la cual intervienen diversos factores internos y externos, pero puede considerarse como una respuesta de la planta a un determinado fotoperíodo. El objetivo del presente trabajo fue definir la influencia que produce el ambiente sobre la floración de genotipos de caña de azúcar (*Saccharum spp.*) con fines de su uso en el mejoramiento genético del cultivo. Para ello se emplearon 80 progenitores representativos de los utilizados en los programas de mejoramiento, los que se plantaron en tres localidades (Guayos, Buenos Aires y Mayarí) ubicadas a diferentes altitudes de la región Central de Cuba (100, 400 y 800 msnm). A los progenitores se les estudiaron algunas variables de la floración de interés para el mejoramiento del cultivo (intensidad, fecha y fertilidad masculina) durante 12 años (1996 a 2007). Con los genotipos que florecieron todos los años en las tres localidades se realizó un análisis de varianza trifactorial (genotipo, localidad y año). Comprobada la existencia de interacción genotipo x ambiente, se realizaron análisis de varianza factorial con modelos de efectos aleatorios. Como resultado se encontró que la localidad fue la fuente de variación que más influencia tuvo en la mayoría de las variables de floración de la zona de estudio. El alto efecto de las localidades dentro del componente ambiental (51-69% de la variación fenotípica total), facilita el uso de la interacción genotipo-ambiente, mediante el empleo de una red de ambientes que permiten la inducción natural de la floración.

Palabras clave: *Saccharum spp.*, floración, interacción genotipo por ambiente.

INFLUENCE OF THE ENVIRONMENT ON SUGARCANE (*SACCHARUM SPP.*) FLOWERING IN THE CENTRAL REGION OF CUBA

ABSTRACT

Flowering is a complex sequence of physiological processes in which diverse internal and external factors are involved, but it can be considered as a plant response to a certain photoperiod. The aim of this paper was to define the environment influence on flowering of different sugarcane (*Saccharum spp.*) genotypes, for their use in sugarcane breeding programs. 80 representative parents of the sugarcane breeding program were planted in three localities (Guayos, Buenos Aires and Mayarí) situated at different altitudes in the central region of Cuba (100, 400 and 800 mosl) and different flowering-related variables were studied (intensity, dates and masculine fertility) for 12 years (1996-2007). A three-way ANOVA (genotype, locality and year) was performed to the genotypes flowering every year. Once the genotype x environment interaction was proved, a factorial ANOVA with the random effects model was carried out. It was found that the locality was the main source of variation influencing most of the flowering-related variables studied. The high effect of the localities as a part of the environmental component (51-69% of total phenotypic variation) facilitates the use of the genotype- environment interaction, by employing a grid of environment allowing the natural induction of flowering.

Key words: *Saccharum spp.*, flowering, genotype by environment interaction.

INTRODUCCIÓN

La industria azucarera cubana inició su reestructuración a partir del año 2002 y en los momentos actuales continúa teniendo un peso importante en la economía. El objetivo de la

industria azucarera es la eficiencia económica, pero para alcanzar tales propósitos el Ministerio del Azúcar (MINAZ) planteó incrementar los rendimientos agrícolas, que no sean inferiores a 54 t caña.ha⁻¹, alcanzar rendimientos industriales del 12% o superiores, así como la diversificación agropecuaria dentro del sector, con el propósito de disminuir los costos, teniendo como base la aptitud física de las tierras (Santana *et al.*, 2007).

No cabe duda de que la tecnología de mayor incidencia en el incremento de la rentabilidad, productividad y sustentabilidad de la producción azucarera es el desarrollo de un programa de mejoramiento genético que permita la obtención de variedades comerciales superiores (Ibarra *et al.*, 2007).

En Cuba los trabajos de mejoramiento de la caña de azúcar (*Saccharum spp.*) se fusionaron a partir de 1964 en el Instituto de Investigación de la Caña de Azúcar (INICA) (Pérez *et al.*, 2007) y hasta el año 1997, se llevaron a cabo en cinco provincias del país, utilizando 10 localidades con características favorables para la floración y se efectuaron entre 1 500 y 1 800 cruces anualmente (Caraballosa *et al.*, 2000). Como resultado de estudios en las diferentes localidades del país y de la necesidad de reducir los costos en el programa, a partir de 1999 se declaró la localidad de Sancti Spíritus como Centro Nacional de Hibridación (Caraballosa *et al.*, 2003), y a partir del 2005, queda como única estación de cruzamientos en Cuba.

El mejoramiento genético de la caña de azúcar se desarrolla a través de la hibridación, por lo que es de mucha importancia conocer la aparición de la floración de cada uno de los individuos representados, la cual varía de año en año, motivado entre varias causas por la temperatura (Caraballosa *et al.*, 2008).

La floración es una cadena de procesos fisiológicos complejos en la cual intervienen diversos factores internos (genotipo, período juvenil, etc.) y externos (fotoperíodo, temperatura, etc.), pero puede considerarse como una respuesta de la planta a un determinado fotoperíodo (Polo, 2005).

El objetivo del presente trabajo fue pues definir la influencia que produce la interacción de los genotipos con el ambiente sobre la floración de la caña de azúcar con fines de su uso en el mejoramiento genético del cultivo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localidades Experimentales

Los experimentos se establecieron en tres localidades contrastantes por estar ubicadas a diferentes altitudes, representativas del Centro de Cuba, las cuales son empleadas para la floración por el Centro Nacional de Hibridación de la Caña de Azúcar (CNHCA): sus ubicaciones aparecen en la tabla 1.

Tabla 1. Posición geográfica de las localidades del estudio.

Localidad	Altitud (msnm)	Latitud (° norte)	Longitud (° oeste)
Guayos	100	22.03	79.45
Buenos Aires	400	21.90	79.58
Mayarí	800	21.97	80.13

Material Vegetal

El primer paso fue hacer una selección al azar de 80 progenitores entre de los más solicitados por los diferentes programas de mejora, los que fueron estudiadas durante 12 años (1996 a 2007) en las tres localidades señaladas anteriormente.

Evaluaciones de la floración

El experimento se trabajó con la cepa de retoño y las variables de la floración evaluadas fueron:

- ✓ Fecha de inicio de la floración (FI): Tiempo que transcurre desde la fecha de inducción de la floración, que para Cuba es a partir del 4 de septiembre según Sam e Iglesias (1988), hasta el momento de la salida del 25 % de las inflorescencias.
- ✓ Intensidad de floración (IF): Corresponde al porcentaje de tallos florecidos para cada uno de los progenitores.
- ✓ Fertilidad del polen (FP): Corresponde al porcentaje de granos de polen fértiles respecto del total, lo cual determina su uso como progenitor.

Análisis estadísticos

De los 80 progenitores estudiados se tomaron 40, que florecieron de manera regular por localidades y años. Los datos originales de las variables evaluadas, fueron comprobados respecto a su normalidad y homogeneidad de varianza, mediante pruebas de Chí cuadrado y Bartlett-Box F. En ningún caso se hizo necesaria su transformación.

Comprobada la existencia de interacción genotipo x ambiente, se realizaron análisis de varianza factorial con modelos de efectos aleatorios, incluyendo dentro de las causas de variación progenitores, localidades y años, se empleó el modelo propuesto por Cochran y Cox (1965). La heredabilidad en sentido amplio (H^2) y el coeficiente de variación genética (CVG), fueron calculados según Milligan *et al.* (1990).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Descomposición de la varianza de los efectos fenotípicos de la floración

En el análisis de varianza (no mostrado) todas las fuentes de variación tuvieron diferencias muy altamente significativas ($p < 0.001$), mientras que los estimados de los componentes de varianza constataron la prevaecía de la varianza ambiental sobre los demás componentes (Tabla 2) en todas las variables estudiadas (de 51,3 a 69,6%). Este efecto es atribuido mayormente por las localidades, el que fue entre tres y seis veces superior al de la suma de los restantes componentes ambientales (año y error), resultado que confirma la clasificación de los ambientes y sugiere la necesidad del empleo de más de una localidad para incrementar la utilización de la variabilidad disponible en el germoplasma.

Tabla 2. Componentes de varianza para las diferentes variables de floración.

Componentes de varianza	Fecha de inicio de floración		Intensidad de floración		Fertilidad del polen	
	σ^2	PVFT	σ^2	PVFT	σ^2	PVFT
σ^2g	64.10	15.9	224.07	18.0	34.16	13.3
σ^2l	226.41	56.1	487.94	39.1	108.68	42.2
σ^2a	37.49	9.3	146.56	11.8	9.66	3.8
σ^2gxl	31.89	7.9	121.03	9.7	32.63	12.7
σ^2gxa	6.96	1.7	3.00	0.2	17.66	6.9
σ^2lxa	15.98	4.0	87.28	7.0	6.16	2.4
σ^2gxlxa	19.83	4.9	176.54	14.2	40.96	15.9
σ^2e	1.07	0.3	0.44	0.0	7.50	2.9
VG	64.10	15.9	224.07	18.0	34.16	13.3
VA	280.94	69.6	722.22	57.9	132.01	51.3
VGA	58.68	14.5	300.57	24.1	91.26	35.5
H^2	0.81		0.79		0.61	
CVG	0.09		0.29		0.47	

σ^2 : componente de varianza (g: genética, l: localidad, a: año, gxl: genotipo x localidad, gxa: genotipo x año, lxa: localidad x año, gxlxa: genotipo x localidad x año, e: error); V: Varianza (G: Genética, A: ambiental y GA: genética x ambiente); CVG: Coeficiente de variación genética; PVFT: Porcentaje variación fenotípica total.

Baurle y Dean (2006); Imaizumi y Kay (2006); Turck *et al.* (2008), señalaron que el mecanismo de tránsito del meristemo apical, de vegetativo a reproductivo, es afectado tanto por el ambiente como por condiciones internas de la planta y cambia entre las diferentes especies, sin embargo en la familia Poaceae resulta común (Colasanti y Coneva, 2009).

Es de resaltar que después del efecto ambiental le continuó en importancia el de la interacción genotipo-ambiente, excepto para la variable fecha de inicio de floración, efecto que origina respuestas específicas de los progenitores y precisa disponer de una estrategia que logre aprovechar eficientemente dicha interacción. Países cañeros como Barbados (Stevenson, 1965), República Dominicana (Depradel *et al.*, 2006) y Guatemala (Polo, 2005) hacen uso de la interacción con plantaciones de sus principales progenitores en diferentes altitudes. En regiones inter-tropicales, como en los casos anteriores, los mejores resultados se enmarcaron entre 200 y 600 msnm.

De los componentes de varianza asociados a la interacción genotipo-ambiente, la interacción genotipo x localidad x año fue superior, a la de genotipos y localidades (gxl) y genotipos y años (gxa) tanto para intensidad de floración, como para fertilidad del polen. Cierta estabilidad del comportamiento de los años se puso de manifiesto en el peso relativos de los componentes años, genotipos x año y localidad x año.

La fecha en que florece un progenitor, de un año para otro y en un mismo sitio, es más constante que su intensidad, resultados que han sido obtenidos por varios investigadores (Depradel *et al.*, 2006; Irei *et al.*, 2006; Cruz *et al.*, 2007).

Es por ello que la estrategia que se proponga podría ser mantenida por un período prolongado de tiempo y la misma debe contemplar la evaluación de los progenitores en toda la red de ambientes recomendada para poder aprovechar la variabilidad que aporta la interacción.

La intensidad de floración fue el carácter donde mayor aporte tuvo el componente de varianza genética y éste fue menor para fertilidad del polen, no obstante los tres caracteres evaluados tienen mayor naturaleza genética, con respecto al rendimiento agrícola y sus componentes, de acuerdo con los reportes de Quemé *et al.* (2007); Smith y Singles (2007); Delgado (2008).

Relacionado con los resultados anteriores, los coeficientes de heredabilidad fueron altos y su orden descendente fue: fecha de inicio de floración (0,81), intensidad de floración (0,79) y fertilidad del polen (0,61), por tanto en el caso de los dos primeros facilitarían más los trabajos de mejora, porque son de esperar menor interacción con el ambiente.

Los estimados de heredabilidad sobre la floración de la caña de azúcar, encontrados en la literatura, discrepan unos de otros, lo que está relacionado con los diferentes métodos de estimación utilizados y diferentes poblaciones. Valores altos, coincidentes con los presentados obtuvieron Cassalet y Rangel, (1995) los que se lo atribuyeron a un menor número de genes involucrados en dicho carácter y a la existencia de dominancia completa, sin embargo Stevenson (1965) considera la existencia de un sistema poligenético complejo, resultados que han sido corroborados en estudios a nivel del ADN (Turck *et al.*, 2008). Por su parte Lyrene, (1977) obtuvo valores moderados para este carácter (0,54 a 0,60), que aunque no superan los estimados en el presente estudio, pueden ser considerados aceptables para el mejoramiento, en comparación con los caracteres del rendimiento agrícola (Delvadia y Patel, 2006).

Los estimados del coeficiente de variación genética (CVG) indicaron que la definición del uso de los progenitores por su fertilidad puede ser diferente de una localidad a otra, ya que registró el mayor coeficiente (0,49), lo que significa que determinado progenitor puede ser utilizado indistintamente como masculino o femenino, en función del ambiente. Contrariamente se manifestaron las fechas de floración y la intensidad.

CONCLUSIONES

El alto efecto de las localidades dentro del componente ambiental (51-69% de la variación fenotípica total), facilita el uso de la interacción genotipo-ambiente, mediante el empleo de las tres localidades de forma combinada.

El programa de los cruzamientos entre los progenitores podría ser mantenido por un período prolongado de tiempo dado que la fecha de inicio de floración presenta valores altos de heredabilidad (0.80) y bajos del coeficiente de variabilidad genética (0.09).

La evaluación de los progenitores en todas localidades es necesaria para poder aprovechar la variabilidad que aporta la interacción progenitor-localidad.

RECOMENDACIONES

Emplear los resultados obtenidos en este trabajo en el manejo de las flores para el mejoramiento genético de la caña de azúcar.

Definir las causas que provocan la existencia de interacción genotipo por ambiente.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Baurle, I. y C. Dean. (2006). The timing of developmental transitions in plants. *Cell* 125: 655-664.
- Carballoso, V.; A. González; N. Bernal; H. Jorge; O. Cruz; R. Rábago y A. Vera 2008. Estudio del efecto de la temperatura sobre la floración de la caña de azúcar en el Centro Nacional de Hibridación. Proc. Memorias Diversificación 2008, Congreso Internacional de Azúcar y Derivados. ISBN 978-959-7165-16-3.
- Carballoso, V.; F. González; R. Cruz; F. Morales y J. Vallina. 2003. capítulo 4, Hibridación. En Jorge, H.; Ibis Jorge; Saddys Segrera (eds): Programa de Fitomejoramiento, impacto en la producción azucarera cubana, Publinica, Ciudad de La Habana. Capítulo 4. p. 28-37. ISSN: 959-7140-03-9.
- Carballoso, V.; F. González; R. Rábagos; N. Bernal y A. Tomeu. 2000. Fundamentación de la creación del Centro Nacional de Hibridación de la caña de azúcar en la provincia Sancti Spíritus. *Cuba & Caña*: 7-14.
- Cassalett, C. y H. Rangel. 1995. Mejoramiento genético Libro pp 63-81.
- Cochran, W.G. y G.M. Cox. 1965. Diseños experimentales. 4ta re-impresión. México, D.F. Edit. F. Trillas. 661p.
- Colasanti, J. y V. Coneva. 2009. Mechanisms of floral induction in Grasses: Something Borrowed, something new. *Plant Physiology*. 149: 56-62.
- Cruz, R., A. Céspedes y F. González. 2007. Comportamiento de la fertilidad del polen y la producción de posturas de caña de azúcar en las localidades de Guaro y Pinares de Mayarí. Proc. 55 Aniversario Estación de Investigaciones de la caña de azúcar de Holguín, Libro de resúmenes.
- Delgado, I. 2008. Manejo sostenible de variedades de caña de azúcar en Cuba. Tesis presentada en opción al título académico de master en agricultura sostenible. UCLV 84 pp.
- Delvadia D. R. y A.D. Patel. 2006. Genetic variability and heritability in sugarcane. *Madras Agric. J.* 93 (7-12): 165-168.

- Despradel, J. O., A. Edwards, W. Schnirpel, N. Mejia, M. Muñoz, y L. O. Cedeño. 2006. The Central Romana breeding program: Fifty years of experience of a private effort for the development of sugarcane varieties. Proc. ISSCT breeding and germplasm workshop, Ecuador.
- Ibarra, J., J. Rodríguez, G. Hernández y R. Cruz. 2007. Impacto del SERVAS en el manejo de las variedades en el agroecosistema cañero de la provincia Holguín. En 60 Aniversario EPICA Jovellanos. CD - ISSN1028-6527.
- Imaizumi, T. y S. A. Kay. 2006. Photoperiodic control of flowering: not only by coincidence. Trends Plant Sci. 11: 550-558.
- Irei, S., Y. Terajima, S. Fukuhara, T. Sakaigaichi, K. Ujihara, M. Matsuoka y A. Sugimoto. 2006. Utilization of wild relatives in sugarcane breeding program in Japan. Proc. ISSCT breeding and germplasm workshop, Ecuador.
- Lyrene, P. M. 1977. Heritability of floreweng in sugarcane. Crop Sci. 17: 462-464.
- Milligan, S.B., K.A. Gravois, K.P. Bischoff y F.A. Martin. 1990. Crop effects on broad-sense heritabilities and genetic variances of sugarcane yield components. Crop Sci. 30: 344-349.
- Pérez, G.; A. China, I. Abrantes, L. Cabrera, O. Carvajal y Sandra Vidal. 2007. Base genética de la caña de azúcar en Cuba y su influencia sobre la obtención de variedades resistentes a enfermedades, Memorias 60 Aniversario EPICA Jovellanos. CD – ISSN1028-6527.
- Polo, P. A. 2005. Caracterización de la floración en 306 variedades de caña de azúcar (*Saccharum spp.*) con fines de mejoramiento para dos localidades de la zona cañera guatemalteca. Tesis de Ingeniero Agrónomo. 52 pp.
- Queme, J.L.; J. Crossa: H. Orozco y M. Melgar 2007. Analysis of genotype-by-environment interaction for sugarcane using the sites regression model (SREG). Proc. ISSCT. 26: 764-769.
- Sam, Ofelia y R. Iglesias. 1988. Estudio de los primeros estadios de la inflorescencia de la caña de azúcar. Revista ATAC 4: 2-7.
- Santana, I.; J.C. Santos y S. Guillen (eds). 2007. Instructivo técnico para la producción y cultivo de la caña de azúcar. Primera edición, PUBLINICA. ISSN 1028-6527. 148 pp. Smith, M.A. y Singles, A. 2007. Quantifying the effects of environment and Genotype on stalk elongation rate in sugarcane. Proc. ISSCT. 26: 568-572.
- Stevenson, G.C.1965.Genetic and Breeding of sugarcane. Longmans, London. 284pp. Turck, F.; F. Fornara y G. Coupland. 2008. Regulation and identity of florigen: LOWERING LOCUS T moves center stage. Annu Rev Plant Biol 59: 573-594.