

SELECCIÓN SIMULTÁNEA PARA RENDIMIENTO Y ESTABILIDAD EN GENOTIPOS DE CAÑA DE AZÚCAR EN LA REGIÓN CENTRO-OCCIDENTAL DE VENEZUELA

Ramón Rea¹, Orlando De Sousa-Vieira², Miguel Ramón³, Gleenys Alejos², Alida Díaz², José George², Milagros Niño² y Rosaura Briceño²

RESUMEN

La interacción genotipo x ambiente ocurre generalmente cuando se evalúan cultivares en diversas localidades, y a menudo se realizan análisis de estabilidad a fin de estimar e interpretar esta interacción. En la presente investigación, se hizo una selección aleatoria a partir de 13 grupos de clones experimentales de caña de azúcar evaluados por el programa Venezolano de Desarrollo de Variedades de Caña de Azúcar del Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas. El grupo seleccionado estuvo conformado por siete genotipos experimentales (*Saccharum* sp. híbrido): V78-2, CP72-2086, Mex 64-1487, V77-11, CP74-2005, V77-9 y V77-12, y tres testigos: V64-10, PR980 y PR61-632. Los genotipos fueron evaluados en ocho ambientes de la región centro-occidental de Venezuela durante tres ciclos de cosecha (plantilla, soca y resoca). Se utilizó el estadístico de estabilidad del rendimiento (YS_i), el cual combina tanto estabilidad como rendimiento en un único criterio de selección, para evaluar el comportamiento de este grupo de genotipos tanto en toneladas de caña por hectárea (TCH), como en contenido azucarero (Pol % caña). De acuerdo a la metodología empleada, los genotipos V77-12, CP72-2086, CP74-2005, PR980 y PR61-632 resultaron los mejores en producción de caña mientras que en contenido azucarero destacaron V77-12, CP72-2086, CP74-2005 conjuntamente con V77-9.

Palabras clave adicionales: Interacción GxA, análisis de estabilidad, *Saccharum* sp. híbrido

ABSTRACT

Simultaneous selection for yield and stability in sugarcane genotypes in the Central-western region of Venezuela

The genotype x environment interaction generally occurs when evaluating cultivars in different environments, and a stability analysis is often performed to estimate and interpret this interaction. For this study, a group was randomly selected out of 13 groups included in the Venezuelan Sugarcane Variety Development Program from the National Institute for Agronomic Research. The selected group consisted of seven sugarcane (*Saccharum* sp. hybrid) clones (V78-2, CP72-2086, Mex 64-1487, V77-11, CP74-2005, V77-9, and V77-12) and three commercial controls (PR61-632, PR980, and V64-10). Clones were evaluated in eight environments during three crops (plant, first, and second ratoons). Yield-stability statistic (YS_i), that combines both stability and yield on a single criterion for selecting, was used to evaluate the behavior of this specific group of genotypes considering both cane yield (TCH) and sugar content (Pol % cane). The results showed that genotypes V77-12, CP72-2086, CP74-2005, PR980, and PR61632 were the best in cane yield; meanwhile, the best in sugar content were CP74-2005, CP72-2086, V77-12, and V77-9.

Additional key words: G x E interaction, stability analysis, *Saccharum* sp. hybrid

INTRODUCCIÓN

La interacción genotipo x ambiente es un fenómeno reconocido universalmente que ocurre cuando se evalúan genotipos en diferentes

localidades, tal como se indica en numerosas publicaciones (Fan et al, 2007; Fikere et al, 2010; Yousefi et al, 2011). Esta interacción complica los procesos de selección en los programas de mejoramiento genético de plantas ya que reduce la

Recibido: Febrero 24, 2014

Aceptado: Agosto 13, 2014

¹ Instituto de Estudios Avanzados IDEA. Caracas. Venezuela. e-mail: ramonrea@hotmail.com

² Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas, INIA-Yaracuy. San Felipe. Venezuela. e-mail: saccharum@hotmail.com; alidajos@yahoo.com; gleenysalejos@hotmail.com; rgeorgemve@yahoo.com; mnino@inia.gob.ve; rosaurab@hotmail.com

³ Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas, INIA-Portuguesa. Araure. Venezuela. e-mail: miguelramon10@gmail.com

correlación entre los valores genotípicos y fenotípicos, lo cual afecta el progreso de selección (Magari y Kang, 1993; Ebdon y Gauch, 2002). La estimación de la estabilidad es importante para identificar el comportamiento consistente de cultivares a lo largo de diferentes localidades y años, así como el rendimiento de los mismos. Varios métodos estadísticos han sido utilizados para el análisis de la estabilidad (Rea y De Sousa, 2002; Alejos et al., 2006; Akcura et al., 2009). No obstante, en muchas situaciones el genotipo más estable no es el de más rendimiento; en estos casos se hace necesario el uso de un método que integre rendimiento y estabilidad para ambos caracteres (Kang, 1993; Kang y Magari, 1996; Zhou y Shoko, 2012). La estabilidad fenotípica en cultivares de caña de azúcar ha sido evaluada mediante el coeficiente de regresión (b), la desviación de la regresión (s^2_d) y el coeficiente de variación (CV_i) para algunos caracteres importantes de los componentes del rendimiento (Rea y De Sousa, 2002). Kang (1993) desarrolló el estadístico de estabilidad del rendimiento (YS_i) que se basa en la varianza de estabilidad de Shukla (1972) y el rendimiento medio de los genotipos a través de ambientes, integrando a ambos parámetros en un índice de selección. Dicho estadístico ha sido utilizado como índice de selección en cultivos como caña de azúcar, papa y algodón (Mekbib, 2003; Cotes et al., 2002; Dewdar, 2013). El objetivo de este trabajo fue seleccionar genotipos de caña de azúcar evaluados simultáneamente para las variables de rendimiento y estabilidad en ocho ambientes de la región Centro-occidental de Venezuela mediante el estadístico de estabilidad del rendimiento (YS_i).

MATERIALES Y MÉTODOS

Se hizo una selección aleatoria a partir de 13 grupos de clones experimentales evaluados hasta ahora por el programa Venezolano de Desarrollo de Variedades de Caña de Azúcar (PVDVCA) del Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (De Sousa et al., 2008), todos pertenecientes a la región Centro-Occidental del país. El grupo seleccionado estuvo conformado por siete genotipos experimentales (V77-9, V77-11, V77-12, V78-2, CP72-2086, CP74-2005, Mex64-1487) y los testigos comerciales V64-10, PR980 y PR61-

632. Los genotipos se probaron en ocho localidades (ambientes) representativos de las áreas ecológicas del cultivo en Los Caobos, Turbio y Carora (estado Lara), Yaritagua y Matilde (estado Yaracuy), y Canaima, Agripaca y Morita (estado Portuguesa). La evaluación se hizo durante tres ciclos (planta, soca y resoca) utilizando un diseño en bloques al azar con tres repeticiones. Las parcelas experimentales consistieron de tres hileras de 1,5 m de ancho y 10 m de largo. La caña fue quemada y cortada a mano a los doce meses en cada uno de los ciclos evaluados. Las tres hileras se cosecharon completas para medir la producción de caña en toneladas de caña por hectárea (TCH). Para estimar el contenido de azúcar (Pol % caña), se tomaron al azar y por cada parcela experimental muestras compuestas de diez tallos.

Los datos de TCH y contenido de azúcar estuvieron sujetos a un análisis de varianza combinando los tres ciclos en una sola medida, siendo tratadas las ocho localidades como ambientes usando el programa Infostat. El cuadrado medio del error combinado, número de repeticiones, media de los genotipos en cada uno de los ambientes y número de ambientes se utilizaron en el programa STABLE desarrollado por Kang y Magari (1995) para calcular el YS_i . Los pasos seguidos para calcular el estadístico YS_i fueron los siguientes:

1) Se calculó la varianza estabilizadora σ_i^2 (Shukla, 1972) a fin de definir la contribución de cada genotipo a la interacción G x A, de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$\sigma_i^2 = [1/(s-1)(t-1)(t-2)] \cdot [t(t-1)\sum_j (u_{ij} - \bar{u}_j)^2 - \sum_j \sum_i (u_{ij} - \bar{u}_i)^2]$$

donde: $u_{ij} = X_{ij} - \bar{X}_j$ siendo \bar{X}_j valores observados (rendimiento) del i ésimo genotipo en el j ésimo ambiente, $\bar{X}_j =$ media de todos los genotipos en el j ésimo ambiente, $\bar{u}_i = \sum_j u_{ij}/s$, $s =$ número de ambientes y $t =$ número de genotipos.

Para determinar la significancia de la prueba, Shukla (1972) desarrolló un test estadístico F' que se distribuye como un test de F con grados de libertad $(t-1)$ y $(s-2)$, y sus valores son estimados por el programa STABLE.

2) Se ordenaron los genotipos de acuerdo a las medias del rendimiento, recibiendo el rango de "1" el genotipo con la media más baja.

3) Se hizo un ajuste a los rangos del rendimiento de la manera siguiente: Se asignó un ajuste de +1

cuando el rendimiento medio (RM) superó al rendimiento medio general (RMG) en menos de 2 mds, +2 cuando lo superó en más de 2 pero menos de 3 mds, y +3 cuando lo superó en más de 3 mds. El mismo criterio fue usado cuando RMG superó a RM, en cuyo caso se usaron signos negativos.

4) Para ordenar la varianza estabilizadora de Shukla (σ_i^2) se procedió como sigue: si la σ_i^2 no es significativa se le asigna el valor 0; se ajusta a -2, -4 ó -8 si la varianza es significativa al 10, 5 ó 1 % del nivel de probabilidad, respectivamente. La varianza así ajustada se denominó "S".

5) Se sumaron los rangos ajustados "Y" y los rangos ajustados "S", por cada genotipo.

6) Finalmente, de acuerdo a este método, los genotipos seleccionados fueron los de YS_i mayor que la media general (Mekbib, 2003, Fan et al., 2007; Olayiwola et al., 2013).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El rendimiento en caña de los genotipos presentó diferencias significativas para la interacción G x A (Cuadro 1). En este caso resulta más apropiado basar la selección de los genotipos sobre una combinación de rendimiento y

estabilidad. Para rendimiento en azúcar no hubo diferencia significativa para la interacción G x A, lo cual es indicativo de que el carácter relacionado con azúcar no es muy variable y se pudiera seleccionar sólo con los rendimientos medios más altos.

En el Cuadro 2 se observa que al comparar entre ambientes, el rendimiento fluctuó desde 67,48 TCH para la localidad Agripaca hasta 151,49 TCH para la localidad Morita. Por su parte, al comparar entre genotipos, el rendimiento genotipos varió desde 50,08 TCH para el clon V77-11 hasta 200,63 TCH para el clon CP74-2005. Este último presentó, a la vez, la mayor producción en TCH en cuatro de los ocho ambientes (Agripaca, Morita, Yaritagua y Turbio); igualmente, al clon CP74-2086 le correspondieron los rendimientos más altos en Los Caobos y Canaima, mientras que los clones V77-12 y PR61-632 presentaron los valores más altos en las localidades de Matilde y Carora, respectivamente. En cuanto al contenido de azúcar, esta variable presentó muy poca variación, y entre ambientes, los valores oscilaron sólo entre 13,28 (Agripaca) y 14,83 (Matilde). Para el caso de los genotipos, los valores variaron desde 12,56 Pol % para PR980 hasta 16,31 Pol % para CP74-2005 (Cuadro 2).

Cuadro 1. Análisis de varianza para el rendimiento y contenido en azúcar de diez genotipos evaluados a través de ocho ambientes en la región Centro-Occidental de Venezuela

Fuente	GL	Rendimiento (TCH)		Azúcar (Pol % caña)	
		MS	F	MS	F
Total	79				
Genotipo	9	4809,1	11,4**	4,97	6,13**
Ambiente	7	21720,9	260,9**	8,65	4,35**
G x A	63	421,9	5,1**	0,81	0,41 ns
Heterogeneidad°	9	749,4	2,0 ns	0,99	1,28 ns
Residual	54	357,4	4,4**	0,78	0,39 ns
Error Combinado	144	83,2			

** Significativo ($P \leq 0,01$); ns: no significativo; °: Heterogeneidad es el efecto lineal del índice ambiental (Shukla, 1972; Magari y Kang, 1993)

El estadístico YS_i , el cual integra las medidas de producción en caña y estabilidad, se presenta en el Cuadro 3. Los genotipos que exhibieron valores de YS_i mayores que la media en ocho ambientes fueron V77-12, CP72-2086, CP74-2005, PR980 y PR61-632; por lo tanto, de acuerdo al método de Kang (1993), éstos serían los cultivares seleccionados. Kang (2002)

destaca la importancia que representa para los productores el uso de cultivares de alto rendimiento y con comportamiento consistente de año a año o por diferentes ciclos de cortes. Pazdernik et al. (1997), al evaluar variedades de soya, sugirió el uso de este método para recomendación final de los diferentes genotipos en los ensayos regionales.

Cuadro 2. Rendimiento en caña (TCH) y azúcar (Pol % caña) de diez genotipos evaluados en ocho ambientes en la región Centro-Occidental de Venezuela

Genotipos	Los Caobos		Matilde		Canaima		Carora		Agripaca		Morita		Yaritagua		Turbio	
	TCH	POL	TCH	POL	TCH	POL	TCH	POL	TCH	POL	TCH	POL	TCH	POL	TCH	POL
V78-2	105,19	14,06	105,49	14,53	87,93	13,14	105,10	15,21	76,74	12,86	139,73	14,11	141,01	14,09	73,07	14,75
CP72-2086	110,87	14,62	106,16	15,64	89,04	15,04	118,96	14,92	73,87	13,45	191,77	13,96	137,35	14,31	115,67	15,10
PR61-632	90,71	12,66	95,96	14,51	68,91	14,64	121,87	13,87	71,31	12,81	180,65	13,24	132,71	12,84	117,25	13,98
Mex 64-1487	87,26	13,68	82,89	14,19	68,09	14,26	112,57	14,20	75,58	14,34	133,12	13,70	118,87	14,08	72,48	14,13
V77-11	54,47	14,11	57,48	14,86	64,38	14,59	75,94	15,12	50,08	13,03	103,55	12,76	107,01	13,49	60,11	15,22
PR980	87,05	12,81	96,44	14,52	73,05	13,89	106,81	13,68	50,80	12,56	161,65	14,14	128,02	13,15	83,78	13,88
CP74-2005	85,25	14,65	106,26	15,77	85,64	14,93	104,06	16,31	83,39	13,99	200,63	14,98	141,77	15,38	118,31	14,68
V77-9	63,01	14,01	75,87	14,88	68,45	14,01	70,54	15,13	58,73	12,91	137,02	13,98	118,28	14,26	73,05	15,30
V64-10	79,02	14,71	78,87	15,28	51,32	14,04	118,21	13,90	64,87	12,79	115,06	13,28	125,80	14,49	83,39	14,62
V77-12	95,88	13,66	107,13	14,08	86,63	14,84	111,27	15,07	69,47	14,10	151,67	13,88	127,48	14,07	91,56	15,23
RM	85,87	13,90	91,26	14,83	74,39	14,33	104,53	14,74	67,48	13,28	151,49	13,80	127,83	14,02	88,87	14,69
MDS (0,05)	8,06	1,94	7,40	1,10	6,80	1,53	10,33	1,00	7,74	1,02	17,22	2,28	6,27	0,78	9,63	1,62

RM: rendimiento medio; MDS: mínima diferencia significativa

Cuadro 3. Estadístico de estabilidad del rendimiento (YS_i) para selección simultánea para producción en caña (TCH) y estabilidad de 10 genotipos en ocho ambientes en la región Centro-occidental de Venezuela

Genotipo	TCH	Rango	Ajuste	Rango Ajustado (Y)	Estabilidad Shukla	Rango ajustado (S)	$YS_{(i)}$
V78-2	104,28	6	1	7	476,2**	-8	-1
CP72-2086	117,96	10	3	13	498,2**	-8	5+
PR61-632	109,92	8	2	10	337,5**	-8	2+
Mex 64-1487	93,86	4	-1	3	263,9**	-8	-5
V77-11	71,63	1	-3	-2	378,2**	-8	-10
PR980	98,45	5	-1	4	125,2ns	0	4+
CP74-2005	115,66	9	3	12	1082**	-8	4+
V77-9	83,12	2	-3	-1	92,7ns	0	-1
V64-10	89,30	3	-2	1	838,9**	-8	-7
V77-12	105,89	7	1	8	125,3ns	0	8+
RMG	99,09						-1
MDS (0,05)	4,3						

**Significativa ($P \leq 0,01$); ns: no significativo; RMG: rendimiento medio general; MDS: mínima diferencia significativa

Los valores de YS_i para el contenido de azúcar se presentan en el Cuadro 4. Los genotipos que obtuvieron valores de YS_i superior a la media general fueron CP74-2005, CP72-2086, V77-12 y V77-9. Todos los genotipos fueron estables (σ_i^2 no significativa) indicando que el contenido de azúcar muestra poca variación y hace que el índice YS_i sea ineficiente al seleccionar para contenido azucarero y estabilidad. Esta poca variación en el contenido azucarero pudiera deberse a que los progenitores de las nuevas variedades tengan antecesores comunes o de una estrecha base genética, característica ésta que ha sido reseñada por varios

autores (Lingle et al., 2009; Lingle et al., 2010), quienes manifiestan que la mayoría de las variedades de caña de azúcar del siglo XX fueron derivadas de híbridos interespecíficos de dos o más especies de *Saccharum*. Lo anterior sugiere que se debe seguir mejorando este carácter mediante hibridación y varios ciclos de selección para aumentar los genes favorables y tener a futuro variedades con alto contenido de azúcar. La integración de rendimiento y estabilidad usando el estadístico YS_i pudiera ser aplicado en otros cultivos con el fin de identificar simultáneamente los genotipos adaptables en diferentes ambientes y de buen rendimiento.

Cuadro 4. Estadístico de estabilidad del rendimiento (YS_i) para selección simultánea para contenido de azúcar y estabilidad de diez genotipos en ocho ambientes en la región Centro-Occidental de Venezuela

Genotipo	Pol % caña	Rango	Ajuste	Rango ajustado (Y)	Estabilidad Shukla	Rango ajustado (S)	$YS_{(i)}$
V78-2	14,09	4	-1	3	0,93 ns	0	3
CP72-2086	14,63	9	1	10	0,16 ns	0	10+
PR61-632	13,57	1	-1	0	0,89 ns	0	0
Mex 64-1487	14,07	3	-1	2	1,02 ns	0	2
V77-11	14,15	6	-1	5	0,92 ns	0	5
PR980	13,58	2	-1	1	0,79 ns	0	1
CP74-2005	15,09	10	1	11	0,84 ns	0	11+
V77-9	14,31	7	1	8	0,62 ns	0	8+
V64-10	14,14	5	-1	4	1,09 ns	0	4
V77-12	14,37	8	1	9	0,86 ns	0	9+
RMG	14,21						5,3
MDS (0,05)	0,67						

ns: no significativo; RMG: rendimiento medio general; MDS: mínima diferencia significativa

CONCLUSIONES

Se logró identificar genotipos de caña de azúcar con buen rendimiento y estables para la región Centro-occidental de Venezuela. Los mejores fueron V77-12, CP72-2086, CP74-2005, PR980 y PR61-632 para rendimiento en caña, mientras que para el contenido de azúcar los cultivares sobresalientes fueron CP74-2005, CP72-2086, V77-12 y V77-9.

LITERATURA CITADA

- Olayiwola, M.O. y O.J. Oriyo. 2013. Relative discriminatory ability of GGE biplot and YS_i in the analysis of genotype x environment interaction in Okra (*Abelmoschus esculentus*). *Int. J. Plant Breed. Genet.* 7(3): 1-13.
- Alejos, G., P. Monasterio y R. Rea. 2006. Análisis de la interacción genotipo-ambiente para rendimiento de maíz en la región maicera del estado Yaracuy, Venezuela. *Agronomía Tropical* 56(3): 369-384.
- Akcura, M., Y. Kaya y S. Taner. 2009. Evaluation of durum wheat genotypes using parametric and nonparametric stability statistics. *Turkish Journal of Field Crops* 14(2): 111-122.
- Cotes, J., C. Ñustez, R. Martínez y N. Estrada. 2002. Analyzing genotype by environmental interaction in potato using yield-stability index. *American Journal of Potato Research* 79: 211-218.
- Dewdar, M.D. 2013. Stability analysis and genotype x environment interactions of some Egyptian cotton cultivars cultivated. *African Journal of Agricultural Research* 8(41):5156-5160.
- De Sousa, O., R. Briceño, A. Díaz, R. Rea, M. Niño, A. Rivero, G. Aza, A. Ortiz y J. George. 2008. Programa venezolano de desarrollo de variedades de caña de azúcar. *INIA Hoy* 1: 1-8.
- Ebdon, J. y H. Gauch Jr. 2002. Additive main effect and multiplicative interaction analysis of national turfgrass performance trials. I. Interpretation of genotype x environment interaction. *Crop Science* 42(2): 489-496.
- Fan, M., M. Kang, H. Chen, Y. Zhang, J. Tan y C. Xu. 2007. Yield stability of maize hybrids evaluated in multi-environment trials in Yunnan, China. *Agronomy Journal* 99(1): 220-228.
- Fikere, M., T. Tadesse, S. Gebeyehu y B. Hundie. 2010. Agronomic performance, disease reaction and yield stability of field pea (*Pisum sativum* L.). *AJCS* 4(4): 238-246.
- Kang, M. 2002. Genotype-environment interaction: Progress and prospects. *In*: M.S. Kang (ed.). *Quantitative Genetics, Genomics, and Plant Breeding*. CABI Publ. Wallingford, UK. pp. 221-243.
- Kang, M. 1993. Simultaneous selection for yield and stability in crop performance trials: Consequences for growers. *Agronomy Journal*

- 85(3): 754-757.
- 12.Kang, M. y R. Magari. 1995. STABLE: A basic program for calculating stability and yield-stability statistic. *Agronomy Journal* 87(2): 276-277.
- 13.Kang, M. y R. Magari. 1996. New developments in selecting for phenotypic in crop breeding. *In: M.S. Kang y H.G. Gauch, Jr. (eds.). Genotype by environment interaction. CRC. Press, Boca Raton. FL. pp.1-14.*
- 14.Lingle, S., R. Viator, R. Johnson, T. Tew y D. Boykin. 2009. Recurrent selection for sucrose content has altered growth and sugar accumulation in sugarcane. *Field Crops Research* 113(3): 306-311.
- 15.Lingle, S., R. Johnson, T. Tew y R. Viator. 2010. Changes in juice quality and sugarcane yield with recurrent selection for sucrose. *Field Crops Research*, 118(2010): 152-157.
- 16.Magari, R. y M. Kang. 1993. Genotype selection via a new yield stability in maize yield trials. *Euphytica* 70(1-2): 105-111.
- 17.Mekbib, F. 2003. Yield stability in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotype. *Euphytica* 130(2): 147-153.
- 18.Pazdernik, D., L. Hardman y J. Orf. 1997. Agronomic performance and stability of soybean varieties grown in three maturity zones in Minnesota. *Journal of Production Agriculture* 10(3): 425-430.
- 19.Rea, R. y O. De Sousa. 2002. Genotype x environment interaction in sugarcane yield trials in the central-western region of Venezuela. *Interciencia* 27(11): 620-624.
- 20.Shukla, G. 1972. Some statistical aspects of partitioning genotype-environmental components of variability. *Heredity* 29: 237-245.
- 21.Yousefi, B., S. Tabei-Aghdaei, M. Assareh y F. Darvish. 2011. Evaluation of stability for discrimination of stable, adaptable and high flower yielding landraces of *Rosa damascena*. *J. Agr. Sci. Tech.* 13: 99-110.
- 22.Zhou, M. y M. Shoko. 2012. Simultaneous selection for yield and stability in sugarcane using parametric statistics. *Journal of Agricultural Science and Technology B* 2: 400-410.