

ESTUDIO DE LA INTERACCION GENOTIPO-AMBIENTE Y METODOS DE ESTABILIDAD EN EXPERIMENTOS DE VARIEDADES DE CAÑA DE AZUCAR EN GRANMA

BEATRIZ ALFARO¹, G. GALVEZ¹, A. NARDO¹, C. MORALES¹ Y J.M. CALAÑA¹

RESUMEN

Se analizó la interacción genotipo-ambiente en 5 variedades y 8 ambientes (2 localidades, 2 años y 2 fechas de plantación de la provincia Granma. Se aplicaron dos métodos de estabilidad, el método de la regresión lineal (y_{ij}) y el del coeficiente de determinación¹ (R^2),

donde se analizaron los resultados en relación con este estadio de selección para

los caracteres tonelada de caña/ha, por ciento de pol en caña y tonelada de pol/ha.

INTRODUCCION

En el campo de la investigación agrícola, muy especialmente en el caña de azúcar, el genetista solamente puede observar o medir el fenotipo como el resultado de una interacción bastante compleja entre las características hereditarias (genotipo) y las condiciones ambientales en las cuales se fue desarrollando. Esto contribuye a plantearnos que la selección de las variedades es un proceso continuo y a la vez difícil (Gálvez, 1978).

Por ello, para poder estimar los efectos que produce el ambiente, sobre todo en la fase final de la selección de variedades, distintos autores han desarrollado diferentes técnicas que posibilitan la interpretación y evaluación del tipo de respuesta que los genotipos muestran a la variación del ambiente. Entre ellas, las técnicas de la regresión lineal, según Finlay y Wilkinson (1963), ampliada por Eberhart y Russell, 1966, de la estabilidad ambiental y adaptación, según Bilbro y Ray (1976) y de la ecovalencia de Wricke (1962) entre otros.

El método de la regresión lineal no solamente ofrece la medida de la capacidad potencial de los genotipos en el aprovechamiento ventajoso del ambiente (estabilidad), mediante el uso del coeficiente de regresión (b_1), sino también es capaz de medir la capacidad de estos para mostrar un comportamiento predecible en función de la calidad de dicho ambiente (adaptabilidad). Otro método ha sido el de la estabilidad ambiental y adaptación, el cual difiere del anterior en que la estabilidad es medida mediante el coeficiente de determinación (R^2) fácilmente calculado.

La necesidad de detectar los genotipos más estables y adaptados, dentro de los de mayor producción, ha sido el objetivo que nos hemos propuesto en este trabajo, teniendo en cuenta las condiciones ambientales en las cuales se desarrolló la experiencia y la aplicación de las técnicas estadísticas descritas anteriormente.

¹Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, ISCAH, La Habana.

MATERIALES Y METODOS

El estudio se llevó a cabo en dos localidades de la provincia Granma, sobre dos tipos de suelo diferentes, según la II Clasificación de los Suelos

de Cuba (Hernández y col., 1975). Se condujo en dos fechas de plantación (frío y primavera) con 5 variedades y tomando como testigo la Ja. 60-5 tal como se muestra en la Tabla I.

Tabla I:

Localidad C.A.I.	Fecha de plantación	Tipo de suelo	Ciclos de cosecha (meses)	Variedades
Ranulfo Leyva (L ₁)	sept./81	Oscuro plástico	16-13	B. 63118
Ranulfo Leyva (L ₁)	abril/81	Oscuro plástico	20-14	C. 87-51
Roberto Ramírez (L ₂)	abril/81	F. Rojo Hidratado	20-13	Ty. 76-16
Roberto Ramírez (L ₂)	sept./81	F. Rojo Hidratado	16-14	Ja. 60-5 (T)

Previo a la plantación, se procedió a preparar el área y a fertilizar según las Normas Técnicas de la Agricultura Cañera (1980); el experimento se desarrolló en condiciones de secano.

El diseño utilizado fue el de bloques al azar con 3 réplicas; las dimensiones de las parcelas eran de 10 m de largo por 1,60 m de entre surcos y se tomó la parcela completa (48 m²) como área de cálculo.

Antes de cada cosecha se realizaron muestras de 5 tallos por parcela tomada al azar (Kerr, 1938), para conocer el contenido de azúcar en cada uno de los tratamientos, a los cuales se les determinó el Brix, pol en jugo y en bagazo y por ciento de pol en caña (Spencer y Meade, 1945).

Las plantas se cosecharon verdes y se procedió a estimar la cosecha mediante el peso total de la parcela, para determinar el rendimiento agrícola y con este carácter y el por ciento de pol en caña se estimó el rendimiento agroazucarero.

Con los resultados obtenidos se calculó el ANOVA factorial 5 x 2 x 2 x 2 (variedades por localidades por fechas de plantación por cepas) para los caracteres de tonelada de caña/ha, por ciento de pol en caña y tonelada de pol/ha, con el fin de conocer si existe interacción genotipo-ambiente entre las localidades estudiadas (Steel y Torrie, 1960).

Posteriormente se aplicó el

método de la regresión lineal descrito por Eberhart y Russell (1966) con el siguiente modelo lineal:

$$Y_{ij} = \mu_i + \beta_i I_j + \delta_{ij}$$

donde:

Y_{ij} = Rendimiento del *i*-ésimo genotipo en el *j*-ésimo ambiente.

μ_i = Media del *i*-ésimo genotipo en todos los ambientes.

b_i = Coeficiente de regresión del *i*-ésimo genotipo.

I_j = Índice ambiental.

δ_{ij} = Es la desviación de la regresión de la *i*-ésima variedad en el *j*-ésimo ambiente.

El método de estabilidad ambiental se calculó según Bilbro y Ray (1976), en el que b_i , Y_{ij} se estimaron de la misma forma que el método anterior para el cálculo de la adaptabilidad, mientras que γ^2 , como medida de la estabilidad de su respuesta al ambiente se calculó entre el índice ambiental (I_j) y el valor de cada genotipo en ese ambiente (Y_{ij}).

Por último, se compararon ambos métodos con el coeficiente de correlación (τ) de Kendall, en todos los parámetros de estabilidad utilizados para la estimación de la estabilidad relativa de las variedades (Sokal y Rohlf, 1969).

RESULTADOS Y DISCUSION

Resultados del ANOVA factorial para los caracteres estudiados

En la Tabla II se puede observar el resultado del análisis de varianza efectuado para los caracteres tonelada de caña/ha, por ciento de pol en caña y tonelada de pol/ha, en el cual se pone

de manifiesto que existen diferencias altamente significativas para todas las fuentes de variación, en especial para los genotipos (G) y para la interacción genotipo-ambiente (G x A), lo que nos indica la posibilidad de utilizar los métodos de estabilidad descritos en este trabajo.

Tabla II. Resultados del Anova Factorial para los caracteres estudiados.

F.V.	G.L.	CUADRADOS MEDIOS		
		t caña/ha	% pol en caña	t pol/ha
Tratamientos	39	2035,4659 **	8,8121 **	59,9765 **
Genotipos (G)	4	3677,2866 **	4,0042 **	81,8511 **
Ambientes (A)	7	2573,8693 **	17,7160 **	89,3469 **
G x A	28	1666,3192 **	7,2730 **	49,5089 **
Error	78	381,7793	0,7499	9,6073

* - Indican diferencias significativas con $P < 0,05$.

** - Indican diferencias altamente significativas $P < 0,01$.

Las diferencias encontradas en los genotipos son lógicas, debido a que en nuestra experiencia se utilizaron variedades con diferentes potencialidades en rendimiento y así se corrobora la existencia de una alta variabilidad entre ellas.

Por otra parte, las diferencias altamente significativas encontradas en la interacción variedad por ambiente (V x A) son debida a que este estudio se desarrolló sobre suelos, cepas y fechas de plantaciones diferentes, los cuales influyen grandemente en el desarrollo fisiológico de los individuos. Esto reafirma lo reportado por Espinosa y Gálvez (1980), quienes plantean los componentes ambientales en los estudios de caña de azúcar, los factores localidad (suelo), fechas de plantación y ciclos de cosechas tienen gran influencia sobre los rendimientos.

Estos resultados ratifican la necesidad de mantener como premisa fundamental el estudio de las variedades en diferentes ambientes, a fin de poder recomendarlas en los lugares donde sean capaces de mostrar un mejor comportamiento respecto a su potencial productivo. A partir del criterio de estabilidad

ofrecido por Eberhart y Russell para las variedades estudiadas (Tabla III), podemos plantear que los valores de b_i obtenidos no difieren de 1. Además la desviación de la linealidad no presentó diferencias significativas para los caracteres analizados.

Estos resultados obtenidos en la b_i no presentan significación, al menos los valores absolutos son bastante diferenciados, lo cual indica que para conocer mejor la estabilidad de las variedades, es necesario aumentar aún más el número de ambientes en los cuales estas se desarrollan.

Al observar los valores de b_i para la C. 87-51 y la C. 187-68, existe una tendencia a ser menos estables, por lo que son tendientes a ser utilizadas en ambientes favorables. Estos resultados para la C. 187-68 no concuerdan con los obtenidos por Gálvez y col. (1983) para la zona de la provincia de la Habana, estudiada en diferentes ambientes en los cuales resultó ser estable. Por otra parte, la Ja. 60-5 y la B. 63118 fueron los cultivares que mejor estabilidad presentaron; esto concuerda con los

resultados obtenidos por Nardo y col. (1983), los cuales reportaron que ambas variedades, entre otras, fueron

las de mejor aprovechamiento del ambiente y ocuparon los primeros lugares en las zonas en estudio.

Tabla III: Resultados del análisis de estabilidad método regresión lineal Eberhart y Russell (1966).

		Ja. 60-5	C. 87-51	B.63118	C. 187-68	Ty. 76-16	\bar{Y}
t caña/ha	b_i	0,96	0,79	1,11	1,44	0,70	
	$E.S_{bi} \pm$	0,15	0,30	0,40	0,33	0,39	
	$\Sigma_j \delta_{ij}/n-2$	52,92	173,95	298,78	206,04	292,64	
	\bar{y}	124,34	122,10	125,23	137,81	103,33	122,56
t pol en caña	b_i	0,96	1,06	0,96	0,98	1,04	
	$E.S_{bi} \pm$	0,14	0,10	0,14	0,10	0,14	
	$\Sigma_j \delta_{ij}/n-2$	0,37	0,19	0,40	0,20	0,41	
	\bar{y}	15,72	15,20	14,92	14,67	14,87	15,07
t pol/ha	b_i	1,07	0,64	1,04	1,41	0,85	
	$E.S_{bi} \pm$	0,09	0,19	0,22	0,22	0,25	
	$\Sigma_j \delta_{ij}/n-2$	0,91	3,82	5,06	5,2	6,53	
	\bar{y}	19,49	18,40	18,52	20,24	15,39	18,41

\bar{y} - es la media general de cada genotipo en los ambientes estudiados.

\bar{Y} - es la media general de los experimentos.

Si tenemos en cuenta el criterio planteado por Finlay y Wilkinson de seleccionar también las variedades por su máxima capacidad de rendimiento, superior al obtenido por el índice ambiental (I_i) para ser consideradas estables, vemos que para el rendimiento agrícola todas las variedades, excepto la Ty. 76-16, resultaron estar por encima de la media ambiental. Esta respuesta ofrecida por la Ty. 76-16 está acorde con sus características genéticas de ser pobre su rendimiento agrícola, la cual influye posteriormente en el rendimiento agroazucarero.

Asimismo, para el por ciento de pol en caña fueron la B. 63118, C. 187-68 y Ty. 76-16, mientras que para las toneladas de pol/ha fue nuevamente la Ty. 76-16. Esta última variedad fue, de las estudiadas

la menos estable para todos los caracteres analizados.

Análisis de adaptabilidad y estabilidad (Bilbro y Ray, 1976)

Con este método, los valores de b_i se determinan de la misma forma que por el método de la regresión lineal, por lo que el análisis de la regresión no ofreció diferencias significativas, como vimos anteriormente. Se observó que las variedades estudiadas se pueden considerar adaptables con relación a los ambientes incluidos en la muestra experimental.

Respecto al parámetro de estabilidad (r^2) no existen diferencias con respecto a la testigo Ja. 60-5 para los caracteres estudiados (Tabla IV).

Tabla IV: Resultados del análisis de adaptabilidad y estabilidad según Bilbro y Ray (1976).

		Ja. 60-5	C. 87-51	B. 63118	C. 187-68	Ty. 76-16	\bar{Y}
t caña/ha	b_i	0,96	0,79	1,11	1,44	0,70	
	r^2	0,8797	0,5304	0,5666	0,7591	0,3456	
	\bar{y}	124,34	122,10	125,23	137,81	103,33	122,56
% pol en caña	b_i	0,96	1,06	0,96	0,98	1,04	
	r^2	0,8843	0,9520	0,8852	0,9424	0,8962	
	\bar{y}	15,72	15,20	14,92	14,67	14,87	15,07
t pol/ha	b_i	1,07	0,64	1,04	1,41	0,85	
	r^2	0,9557	0,6427	0,7844	0,8667	0,6528	
	\bar{y}	19,49	18,40	18,52	20,24	15,39	18,41

\bar{y} - es la media general de cada genotipo en los ambientes estudiados.

\bar{Y} - es la media general de los experimentos.

De acuerdo con las respuestas genotípicas ofrecidas en los métodos que se analizaron, podemos decir que, de los caracteres estudiados, el por ciento de pol en caña fue el más estable y adaptado relativamente y es lógico si tenemos presente que el contenido azucarero está formado por los estimados que provienen de procesos fisiológicos que ocurren y que por tanto, son más heredables, (menos afectados por el ambiente).

Análisis de la correlación de rango Kendall

En general, para la correlación de rango Kendall (Tabla V) no hubo diferen-

cias significativas, excepto para la asociación entre los parámetros de estabilidad, desviación de la linealidad y coeficiente de determinación (δ_{ij}/r^2), la cual fue significativa en el por ciento de pol en caña. Se destacó que en dicha asociación existe una tendencia a haber una correlación positiva para el resto de los caracteres, que concuerda con lo obtenido por Gálvez (1978), de que tanto uno como otro método pueden ofrecer resultados similares en la clasifi-

cación de la estabilidad de las variedades.

Tabla V: Matriz de correlación de rango Kendall.

Parámetros de estabilidad	t caña ha	% pol en caña	t pol ha
b_i/δ_{ij}	0,5	0,9	0,5
b_i/r^2	- 0,3	- 0,7	- 0,7
δ_{ij}/r^2	0,9	1.0 *	0.5

* significa coeficiente de correlación de Kendall (τ) con $P < 0,05$.

CONCLUSIONES

La alta interacción genotipo-ambiente encontrada permitió poder utilizar los métodos de estabilidad y adaptabilidad estudiados, que destaca la importancia de realizar estudios de regionalización de variedades en diferentes ambientes.

Ambos métodos de estabilidad no causaron diferencias significativas para los caracteres analizados con la correlación de rango de Kendall, aunque para el por

ciento de pol en caña existió una asociación positiva entre la desviación de la linealidad y el coeficiente de determinación.

Las variedades que mejor estabilidad presentaron fueron la B. 65-118 y la Ja. 60-5 para los ambientes estudiados.

El carácter por ciento de pol en caña fue, en general, el más estable y adaptado por ser el más heredable.

RECOMENDACIONES

Recomendamos aumentar el número de ambientes a estudiar para lograr una mayor

información de las variedades respecto a su estabilidad y adaptación.

REFERENCIAS

- BILBRO, J.D. AND L.L. RAY. 1976. *Environmental Stability and Adaptation of Several Cotton Cultivars*. *Crop Sci.* 16: 821-824.
- CUBA. MINISTERIO DE LA AGRICULTURA. 1980. *Normas Técnicas de la Agricultura Cañera*. La Habana, CIDA.
- EBERHART, S.A. AND W.A. RUSSELL. 1966. *Stability Parameters for Comparing Varieties*. *Sci.*, 6: 36-40.
- ESPINOSA, R. Y G. GALVEZ. 1980. *Genotype-Environment Interaction in Sugarcane. Interaction of Genotypes with Planting Date and Harvest Cycles*. *Proc. 17th Cong. ISSCT*. Manila.
- FINLA., K.W. AND C.N. WILKINSON. 1963. *The Analysis of Adaptation in a Plant Breeding Programme*. *Aust. J. Agric. Res.* 14: 742-754.
- GALVEZ, G. 1978. *De la interacción genotipo-ambiente y métodos de estabilidad en experimentos de variedades de caña de azúcar (Saccharum sp. híbrido)*. Tesis para optar por el grado de Candidato a Doctor en Ciencias Agrícolas. La Habana, INCA.
- GALVEZ, G.; MARIA E. DOMINI, J.M. CALAÑA y C. DE LA FE. 1983. *Estudio de la repetibilidad del parámetro de estabilidad en el rendimiento y calidad del jugo de la caña de azúcar (Saccharum sp. híbrido)*. XVIII Congreso de la ISSCT. La Habana, p. 159-173.
- HERNANDEZ, A. y COL. 1975. *Clasificación Genética de los Suelos de Cuba*. Academia de Ciencias de Cuba. Serie Suelos (23).
- KERR, H.W. 1938. *Cane Sampling Methods with Field Experiments*. *Proc. 6th Congress ISSCT*, p. 399.
- NARDO, A.; C. MORALES, MARIA E. DOMINI y J.M. CALAÑA. 1983. *Comportamiento de seis cultivares de caña de azúcar en cuatro localidades de la provincia Granma*.
- SOKAL, E.R. AND F.J. ROHLF. 1969. *Biometry*. San Francisco, W.H. Freeman. 776 p.
- SPENCER, L.G. AND G.P. MEADE. 1945. *Sugarcane Handbook*. 5th. Ed. New York, John Wiley, 590 p.
- STEEL, R. AND J.H. TORRIE. 1960. *Principles and Procedures of Statistics*, New York, Mc. Graw Hill. 481 p.

ABSTRACT

A STUDY ON THE G x E INTERACTION AND STABILITY METHODS IN SUGARCANE VARIETY TRIALS OF GRANMA

The genotype x environment interaction was analyzed in five varieties under eight environments (two locations, two

years and two planting dates) of Granma province. Two stability methods were applied, a lineal regression method (Y_{ij}) and the one of determination coefficient (R^2), for analyzing the results from this selection stage, concerning cane t/ha, Pol % cane and Pol t/ha.