ESTUDIO DE LA INTERACCION GENOTIPO-AMBIENTE EN EXPERIMENTOS DE VARIEDADES DE CAÑA DE AZUCAR (*Saccharum officinarum* L.) EN DOS LOCALIDADES DEL OCCIDENTE DE CUBA. COMPORTAMIENTO DE DOS METODOS DE ESTABILIDAD

G. GALVEZ
Instituto de Ciencia Agrícola
Gaveta Postal No. 1
San José de las Lajas, La Habana.

Seis variedades comerciales y precomerciales de cañas de azúcar (*Saccharum spp Híbridas*) fueron evaluadas durante tres cosechas en dos localidades. Se llevó a cabo un análisis estadístico factorial, a fin de conocer los valores componentes de las interacciones g x e. Para los caracteres analizados (rendimiento, brix, pol % en caña) la variación debida a la interacción g x e siempre fue mayor al 60% de la variación total. Por tanto, se realizó el análisis de estabilidad ambiental, usando dos métodos: el método de regresión y el de ecovalencia. En nuestros resultados llegamos a la conclusión de que el método de regresión lineal ha sido más eficiente que el de ecovalencia para predecir la respuesta de los genotipos al ambiente.

La evaluación de las variedades es un paso necesario e importante en el desarrollo del programa de mejoramiento de cualquier cultivo (Gálvez, 1976).

Debido a la existencia de la interacción genotipo-ambiente, el material de mejoramiento en sus últimas etapas -

de selección requiere de su evaluación, tanto en tiempo como en espacio (Bilbro y Ray, 1976). La decisión de entregar un material para su uso como variedad comercial se hace normalmente sobre la base de si su comportamiento fue "satisfactorio", en comparación con una o más variedades standards de las zonas estudiadas. Sin embargo, la decisión de si un material evaluado en las últimas etapas del mejoramiento es o no satisfactorio para reemplazar a una variedad comercial se convierte, a veces, en un problema serio, porque un material superior en una localidad durante uno o más años es pobre o variable respecto a su comportamiento en otros lugares. Lo anterior ha conllevado a los mejoradores de plantas a la búsqueda de métodos para estimar la estabilidad de los genotipos a ambientes cambiables.

El método de la regresión lineal de los genotipos sobre las medias ambientales, planteado por Yates y Cochran (1938) y desarrollado entre otros por Finlay y Wilkinson (1963), Eberhart y Russell (1966) y Bucio Alanis (1966), ha sido usado con éxito en muchos cultivos.

Por otra parte, Wricke (1962, 1964) desarrolló el llamado método de la ecovalencia que tiene como base dividir el valor de la interacción g x e en componentes, debido a cada genotipo en estudio.

En caña de azúcar, Skinner (1971) sugirió el uso del método de la regresión lineal, mientras que Gálvez (1977) lo usó en experimentos de este cultivo con resultados prometedores. Este trabajo trata de la comparación de los dos métodos para estimar la estabilidad genotípica mencionados anteriormente en un grupo de experimentos en el occidente de Cuba.

MATERIALES Y METODOS

Condiciones experimentales

Los estudios consistieron en cuatro experimentos realizados durante tres cosechas cada uno en las Estaciones Regionales de Caña del INCA en Bauta y Bainoa, sobre suelos ferralíticos rojos (Shishov, 1972) entre los años 1972 y 1976. En cada experimento se estudiaron seis variedades; C.P. 5243, Ja. 60-5, B. 4362, C. 87-51, My. 5354 y My. 5514, con diseños de bloques al azar, con cuatro repeticiones y

cinco surcos en cada parcela, sembrados a una distancia de 1,6 m entre surcos.

Entre los 12 y los 14 meses se efectuó la cosecha cada año, estimándose los rendimientos agrícolas según Hogarth y Skinner (1967). El pol % y el brix se analizaron tomando una muestra al azar de cinco tallos en cada parcela una semana antes de la cosecha.

Al finalizar las tres cosechas se realizó un análisis estadístico factorial 6x3x2 para cada carácter analizado (Steel y Torrie, 1960).

METODOS DE ESTABILIDAD

Se utilizó el método de la regresión del valor del rendimiento de cada genotipo en cada ambiente sobre la media del ambiente. El modelo estadístico utilizado fue el siguiente (Eberhart y Russell, 1966):

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

donde:

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

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

I_j = índice o media ambiental del j-ésimo ambiente.

β_i = coeficiente de regresión del i-ésimo genotipo.

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

Otro método utilizado para estimar la estabilidad fue el de Wricke (1962, 1964), que calcula la contribución de cada variedad a los componentes de la varianza de la interacción g x e, dando a estos valores el nombre de ecovalencia (W_i).

$$W_i = \sum_j (X_{ij} - X_{i.}/q - X_{.j}/p + X_{...}/pq)^2$$

donde:

W_i = valor de ecovalencia del i-ésimo genotipo.

X_{ij} = valor del i-ésimo genotipo en el j-ésimo ambiente.

$X_{i.}$ = suma del valor del i-ésimo genotipo en todos los ambientes.

$X_{.j}$ = suma del valor del j-ésimo ambiente.

p = número de genotipo.

q = número de ambientes.

X.../pq = media general.

RESULTADOS Y DISCUSION

En la Tabla 1 se pueden ver los resultados combinados del análisis de varianza factorial para los tres caracteres analizados, así como sus medias, errores standards y coeficientes de variación.

El rendimiento agrícola, expresado en t métricas de caña/ha, refleja diferencias significativas en todas las fuentes de variación (excepción de réplicas). Las diferencias entre genotipos son fáciles de explicar, por incluir la muestra experimental variedades de origen diferente, siendo además algunas comerciales y otras no. Igualmente las diferencias entre años son lógicas, ya que comprenden las existentes entre caña planta y retoños muy común en caña de azúcar.

A simple vista el resultado de las diferencias altamente significativas de la interacción g x e, traducidas en estos experimentos en genotipos x años, genotipos x localidades y genotipos x años y localidades reafirma lo planteado en experimentos de selección en caña de azúcar (Hogarth, 1973; Skinner, 1971, y Gálvez, Espinosa y Ortiz, 1977).

El análisis del brix y el pol % en caña es muy similar en nuestros resultados, lo que concuerda con lo apuntado por Hogarth (1973) de una correlación fenotípica y genotípica alta entre ambos caracteres.

Para los dos caracteres encontramos diferencias significativas entre genotipos, lo que es una expresión de sus potenciales genéticos diferentes para la calidad del jugo.

Las diferencias entre años en los dos caracteres son explicables por las diferencias fisiológicas entre la caña planta y los diferentes retoños.

Las diferencias entre localidades para el brix se explica por la diferencia entre la fertilidad de los suelos expresados anteriormente. Sin embargo, en este caso es sorprendente que no hayamos obtenido el mismo resultado con el brix.

Las diferencias significativas debidas a la interacción genotipo x localidad para ambos caracteres puede explicarse por la diferencia entre localidades en nuestros resultados. Por otra parte, la interacción genotipo x año no resultó significativa para ninguno de los caracteres.

La Tabla 2 muestra las ecuaciones lineales, errores standards de $\hat{B}_i$ y medias del rendimiento para cada genotipo de acuerdo al análisis de regresión propuesto por Eberhart y Russel (1966). Es importante, en primer lugar, destacar la existencia de dos grupos de variedades respecto a su estabilidad: un grupo formado por las variedades C.P. 5243 y Ja. 60-5, con mayor estabilidad (menor $\hat{B}_i$), y el otro formado por la C. 87-51, que presenta mayor estabilidad en nuestra muestra experimental. Si atendemos solamente a la estabilidad, diríamos que las variedades C.P. 5243 y Ja. 60-5 son variedades recomendables para mantener un rendimiento estable en los ambientes estudiados, mientras que la C. 87-51 sería solamente recomendable para ambientes favorables (mayor $\hat{B}_i$).

Sin embargo, un análisis más completo se puede hacer al estudiar la Figura 1. Con el auxilio de esta figura se observa que la variedad B. 4362 es la de más altos rendimientos promedios con una estabilidad satisfactoria ($\hat{B}_i$ = 1,18).

En la Tabla 2 podemos ver los resultados del análisis de la estabilidad por el método de la ecovalencia. En primer lugar, es posible observar que la variedad C. 87-51 tiene el valor mayor de W_i, es decir mayor estabilidad, lo que concuerda con el método de la regresión lineal. Sin embargo, no puede hacerse una diferenciación clara dentro del grupo de variedades restantes, a excepción de la variedad My. 5514, que se presenta como la variedad más estable (menor W_i), lo que resulta contradictorio con el método de la regresión lineal.

De acuerdo con nuestros resultados, el método de la regresión lineal ha sido más eficiente que el de la ecovalencia, pues ayuda a discriminar dentro de los grupos de variedades cuándo un método de la ecovalencia no fue suficiente para esto.

TABLA 1. ANALISIS DE VARIANZA

Fuentes de variación	Rendimiento	Brix	Pol % caña
Años (B)	53931,60**	104,86**	205,44**
Localidades (C)	4804,61**	47,79**	0,75
B x C	16030,76**	4,41*	301,53**
Replicaciones (R)	339,60	1,62	0,81
Genotipos (A)	813,74**	6,05**	3,35*
A x B	794,67**	1,29	2,39
A x C	1514,44**	7,70**	3,70*
A x B x C	339,71*	3,18**	1,92
$\bar{x} \pm$ S.E. C.V.	126,89±6,71 10,58%	20,81±0,49 4,78%	15,45±0,23 7,54%

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

**diferencias significativas con $P < 0,01$.

TABLA 2. ESTIMADO DE LOS COEFICIENTES DE REGRESION Y DE LA ECOVALENCIA

Genotipos	$b_i \pm S.E.$	W_i (+)	$\bar{x}$ (t caña/ha)
C.P. 5243	0,70±0,29	1026,79 ab	122,59
Ja. 60-5	0,71±0,23	830,29 ab	123,14
My. 5354	0,98±0,28	507,09 bc	126,71
My. 5514	0,91±0,19	260,48 c	125,34
B. 4362	1,18±0,20	667,87 abc	138,26
C. 87-51	1,48±0,24	1785,63 ab	125,18

(+) Letras diferentes significan diferencias significativas con $P < 0,05$.

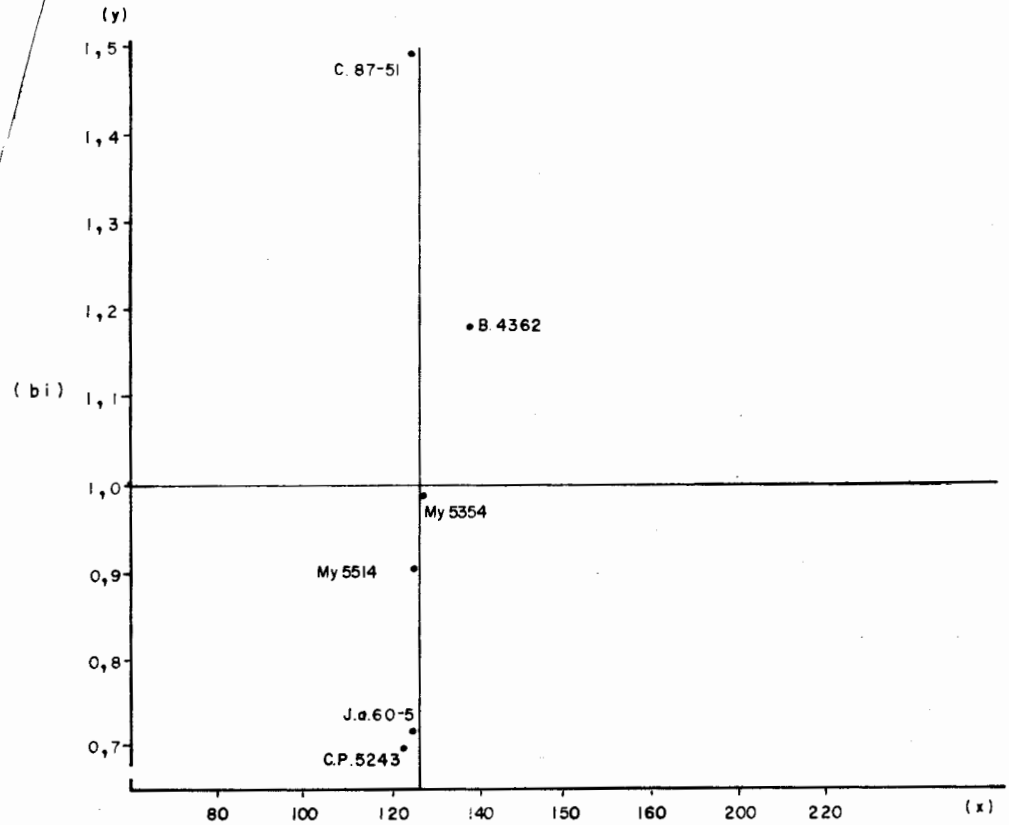

Figura 1. Análisis gráfico del rendimiento y estabilidad de los genotipos estudiados.

A STUDY OF THE INTERACTION GENOTYPE-ENVIRONMENT IN EXPERIMENTS OF VARIETIES OF SUGAR CANE AT TWO WESTERN LOCATIONS. PERFORMANCE OF TWO METHODS OF STABILITY

Six commercial and precomercial sugar cane cultivars, Saccharum spp. Hybrids have been tested in cultivar trials over three harvests at two locations. A statistical-factorial analysis was carried out in order to know the component values of the g x e interactions. For the analyzed characters (yield, brix, and cane pol %), the variation due to g x e interactions was always higher than 60% of the total variation. Hence, an environmental stability analysis was carried out using two methods, the linear regression method and the method of ecovalence. In our results we found out that to predict the answer of the genotypes across the environments, the linear regression method fitted better than the method of ecovalence.

REFERENCIAS

BUCIO ALANIS, L. (1966). Environmental and genotype-environmental components of variability. I. Imbred lines, Heredity, 21: 387-397.

BILBRO, J.D. and Ray, L.L. (1976). Environmental stability and adaptation of several cotton cultivars. Crop.-Science. 16: 821-824.

EBERHART, S.A. and Russell, W.A. (1966). Stability parameters for comparing varieties. Crop Sci. 6: 36-40.

FINLAY, K.W. and Wilkinson, G.N. (1963). The analysis of adaptation in a plant breeding programme. Aut. J. Agric. Res. 14: 742-754.

GALVEZ, G. (1976). La genética cuantitativa en el mejoramiento de plantas. Uso en caña de azúcar. Seminario Científico del INCA.

GALVEZ, G., Espinosa, R. y Ortiz, R. (1977). Estimación de la interacción genotipo-ambiente en caña de azúcar. Efecto de la interacción sobre el rendimiento y algunos de sus componentes en dos localidades del occidente de Cuba. 41 Conf. ATAC.

HOGARTH, M.D. and Skinner, J.C. (1967). A sampling method - for measuring variety trials. BSES. Tech. Comm. - No. 1.

HOGARTH, M.D. (1971). Quantitative inheritance studies in - sugar cane. I. Estimation of variance components. Aust. J. Agric. Res. 22: 93-102.

HOGARTH, M.D. (1973). Ph D. Thesis. Queensland University, — Australia.

MEDINA, N. (1976). Caracterización agroquímica de dos sue— los rojos ferralíticos. Informe al Consejo Cien— tífico del INCA.

SHISHOV, L. (1972). Clasificación genética de los suelos — cañeros de Cuba. Serie Agrícola INCA. Academia - de Ciencias de Cuba.

SKINNER, J.C. (1971). Selection in sugar cane: A review. — Proc. of ISSCT 14th Cong. Lousiana.

STEEL, RG.D. and Torrie, J.H. (1960). Principles and Proce- dures of Statistics. MacGraw Hill Book Co. N.Y.

WRICKE, G. (1962). Uber eine Methodo zur Erfassung der Üko— logischen Streubreite in Feldeversuchen. 47: 92-96.

WRICKE, G. (1964). Zur Berechnung der Okevalenz bei Sommer— weizen und Hafer. Z. Pflanzenzücht. 52: 127-138.

YATES, F. and Cochran, W.G. (1938). The analisys of groups- of experiments. J. of Agric. Sci. 28: 556-580.