

USO DE LA REPETIBILIDAD CLONAL EN LA SELECCIÓN DE AMBIENTES EN ENSAYOS REGIONALES DE VARIEDADES DE CAÑA DE AZÚCAR EN LOS ESTADOS LARA Y YARACUY

Orlando De Sousa-Vieira¹, Ramón Rea¹ y Rosaura Briceño¹

RESUMEN

El término “repetibilidad clonal” se refiere a la correlación existente entre diferentes plantas de un mismo clon. Esta técnica es muy útil para medir la efectividad de la selección de clones de caña de azúcar (*Saccharum* sp., híbrido) y para estimar la magnitud de la interacción genotipo x ambiente. Este trabajo se realizó con el objeto de ubicar localidades y épocas de zafra similares para rendimiento de caña (TCH) y Pol % caña a fin de disminuir racionalmente su número y desplazar recursos humanos y presupuestarios hacia áreas no cubiertas hasta ahora. Se utilizó la repetibilidad fenotípica y genética calculadas mediante correlaciones entre todos los posibles pares de cuatro localidades y dos épocas de zafra. El inicio de zafra resultó ser la época más crítica debido a la interacción genotipo x ambiente, la cual disminuye la efectividad de la selección. La repetibilidad entre épocas de zafra para las localidades de Veroes y Río Turbio indicó que la selección sería igual de efectiva utilizando únicamente la época de inicio de zafra. En cambio, las localidades de Matilde y El Rodeo deberían continuar con dos épocas de zafra. Los resultados de heredabilidad en sentido amplio corroboran las conclusiones del estudio de repetibilidad e indican a las localidades de Matilde y El Rodeo con el mayor porcentaje de variabilidad debida a factores ambientales.

Palabras clave adicionales: *Saccharum* sp., heredabilidad, interacción genotipo x ambiente

ABSTRACT

The use of clonal repeatability to select environments for sugarcane regional trials in Lara and Yaracuy States

The term “clonal repeatability” refers to the phenotypic correlation between different plants of the same clone. The technique is quite useful to look at the effectiveness of sugarcane (*Saccharum* sp., hybrid) selection and to estimate genotype by environment interaction. The present study was carried out to identify similar outfield test sites in order to explore different ways to optimize testing efficiency. Cane yield (TCH) and percentages of pol in cane (Pol % cane) were used as variables. Results indicated that all four sites should be kept as outfield test sites. This holds true for the sites but not for the harvest seasons. Early harvest was the season most affected by genotype by environment interaction, which reduces the effectiveness of clone selection. Results of repeatability between harvest seasons within testing sites suggested that sugarcane clone selection in Veroes and Río Turbio would be equally effective using just the early harvest season. In contrast, the test sites Matilde and El Rodeo should maintain both harvest seasons. Wide sense hereditability results were in agreement with those obtained using repeatability analysis, which showed Matilde and El Rodeo as the testing sites with the higher variability due to environmental factors.

Additional key words: *Saccharum* sp., hereditability, genotype x environment interaction

INTRODUCCIÓN

La efectividad en la selección de clones de caña de azúcar aumenta en la medida en que el carácter bajo selección sea repetible a través de diversos ambientes (Kang et al., 1984). El número de ambientes necesarios para estimar con precisión el valor de un determinado carácter es inversamente proporcional al valor de la repetibilidad del carácter en cuestión. Esto quiere decir que, manteniendo constante el número de ambientes la estimación del valor de un carácter

repetible es mucho más precisa que la estimación proveniente de un carácter poco repetible.

Falconer (1966) concibió la idea de que dos plantas del mismo clon podrían analizarse como dos individuos diferentes o bien como el mismo individuo replicado dos veces. Este mismo autor sugirió el termino “repetibilidad clonal” para referirse a diferentes plantas del mismo clon. Así, la correlación fenotípica, para un mismo carácter, entre el mismo clon plantado en dos diferentes ambientes da una estimación de la repetibilidad clonal.

Recibido: Junio, 25, 2002

Aceptado: Abril 28, 2003

¹ INIA. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas. Centro de Investigaciones Agrícolas del Estado Yaracuy (CIAEY). Apdo. 110. San Felipe, estado Yaracuy. Venezuela.

La mayoría de los estudios de repetibilidad han sido realizados con la finalidad de estimar la repetibilidad existente entre diferentes etapas de selección en un programa de mejoramiento genético de caña de azúcar (Glaz et al., 2002). En estos casos, las correlaciones fenotípicas entre dos etapas son consideradas como estimaciones de repetibilidad. Mientras que estas asociaciones fenotípicas proporcionan una cierta medida de repetibilidad clonal, las asociaciones genéticas proporcionan evidencia de los mecanismos genéticos involucrados en la expresión de un carácter y además, como lo sugirió Falconer (1989), las asociaciones genéticas para un mismo carácter entre dos diferentes ambientes son útiles para estimar la interacción del genotipo con el ambiente. La repetibilidad de caracteres en diferentes ciclos de cultivo y ambientes puede proveer información útil para determinar estrategias de selección que incrementen la eficiencia y la reducción de costos en los programas de mejoramiento (Ramdoyal, 1999; De Sousa-Vieira y Milligan, 1999).

Los valores de heredabilidad en sentido amplio (h_w^2) son útiles para definir el porcentaje de la variabilidad genética total existente en un grupo de materiales. La h_w^2 es importante en caña de azúcar debido a que este cultivo se propaga asexualmente, por lo que toda la porción de la variación genética es aprovechable (Miller y James, 1975; Deventer y Mc Laren, 1986).

Este trabajo se realizó con la intención de explorar diferentes formas para optimizar la eficiencia de las últimas etapas de selección de clones de caña de azúcar. Los objetivos fueron determinar cuales de los sitios experimentales utilizados en las pruebas finales de selección son más influenciados por el ambiente y ubicar localidades y/o épocas de zafra similares a fin de disminuir racionalmente su número y desplazar recursos a nuevas áreas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se seleccionó aleatoriamente un grupo de clones experimentales de caña de azúcar a partir de un lote correspondiente al Proyecto de Obtención y Selección de Variedades de Caña de

Azúcar en Venezuela, adelantado por el Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA) en etapa de ensayos regionales, con el fin de estimar la repetibilidad genética y fenotípica así como la heredabilidad en sentido amplio en la etapa final de selección. Se utilizaron las variables de toneladas de caña por hectárea (TCH) y por ciento de azúcar (Pol % caña). El material experimental estuvo compuesto por diferentes clones de caña de azúcar de los cuales diez correspondían a materiales en proceso de selección y tres a testigos comerciales (Cuadro 1). Se utilizaron cuatro localidades: Agua Negra (Veroes), ubicada en el municipio Veroes; Central Matilde (Matilde), municipio Bruzual; Estación Local Yaritagua (El Rodeo), municipio Peña, todas éstas en el estado Yaracuy y hacienda La Unión (Río Turbio), municipio Palavecino en el estado Lara. En cada localidad se plantaron dos ensayos correspondientes al inicio (época I, diciembre-enero) y final (época II, marzo-abril) de zafra de las centrales azucareros en cuya área de influencia se localizaron los experimentos. El diseño experimental utilizado fue el de bloques completamente aleatorizados con tres repeticiones. Cada uno de los ocho ensayos constó de 42 unidades experimentales. Cada unidad experimental estuvo compuesta de tres hileras de 10 m y 1,5 m de separación entre ellas (45 m²). La densidad de siembra utilizada fue de cuatro esquejes de tres yemas por metro lineal de surco. Cada ensayo se mantuvo por tres ciclos consecutivos de 12 meses cada uno (planta, soca y resoca).

Se computaron datos de TCH y Pol % en caña planta, soca y resoca. Utilizando el promedio de los tres ciclos se calcularon los componentes de varianza para cada ambiente. Los componentes de covarianza, entre todos los posibles pares de ambientes, fueron calculados de una manera análoga a los anteriores.

Cuadro 1. Clones de caña de azúcar utilizados

Clones experimentales	Testigos
V74-7	V64-10
V75-2	PR980
V75-3	PR61-632
V75-5	

B75-49
B75-403
B76-226
B76-274
CP70-1133
My55-14

Las correlaciones (r) fenotípicas y genéticas se estimaron de la manera siguiente:

$$r = \sigma_{ixy} / \sigma_{ix} \sigma_{iy}$$

donde σ_{ixy} es la covarianza estimada entre el ambiente x y el ambiente y para el carácter i , y σ_{ix} y σ_{iy} son las desviaciones estándar del carácter i en los ambientes x y y , respectivamente.

La heredabilidad en sentido amplio (h_w^2) fue calculada para cada carácter y en cada ambiente de acuerdo a la fórmula:

$$h_w^2 = (\sigma_{gi}^2 / \sigma_{fi}^2)$$

donde σ_{gi}^2 es la varianza genética del carácter i y σ_{fi}^2 es la varianza fenotípica para el mismo carácter. Los errores estándar aproximados de las correlaciones fenotípicas, correlaciones genéticas y heredabilidades fueron calculados según Efron y Tibshirani (1994), Falconer (1989) y Dickerson (1969), respectivamente.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Cuadro 2 se presentan los resultados de repetibilidad fenotípica entre todos los pares de las diferentes localidades en estudio. Los valores de los coeficientes de repetibilidad para las variables TCH y Pol % caña se ubican dentro del rango de bajos a intermedios con coeficientes que oscilaron entre $r = 0,03$ y $r = 0,70$. Sin embargo, la mayoría de estos valores son significativos desde el punto de vista estadístico y similares a valores obtenidos en otros trabajos de repetibilidad (Kang et al., 1984). Al discriminar entre las dos variables de producción se observa que la variable TCH tiene, generalmente, valores de repetibilidad fenotípica mayores que los de la variable Pol % caña. Por otro lado, si la diferenciación se realiza entre las épocas de zafra, se encuentra que los valores de repetibilidad para la variable TCH a finales de zafra son ligeramente mayores que los valores

obtenidos a inicio de zafra, siendo los valores para la variable Pol % caña bastante similares entre las dos épocas. La correlación fenotípica entre las localidades de Matilde y El Rodeo para la variable TCH es inexistente a inicio de zafra, el coeficiente es prácticamente cero ($r=0,03$). Sin embargo, el resultado obtenido a final de zafra indica que existe una repetibilidad intermedia entre estas dos localidades ($r = 0,59$). Una situación similar se encontró entre Matilde y Veroes. La repetibilidad fenotípica entre Matilde y Río Turbio fue baja y semejante entre las dos épocas de zafra. La localidad Río Turbio presentó una repetibilidad intermedia con Veroes y El Rodeo con la diferencia de que el valor mayor de repetibilidad con Veroes es a inicio de zafra ($r=0,70$) mientras que el valor mayor de repetibilidad con El Rodeo fue ($r = 0,70$) a final de zafra. En relación con la variable Pol % caña, las localidades de Matilde y El Rodeo presentan la mayor repetibilidad en ambas épocas de zafra ($r=0,58$ y $r=0,62$ a inicio y final de zafra, respectivamente). Estas dos localidades a final de la zafra junto con las localidades de Río Turbio y Veroes a inicio de la zafra, son las únicas combinaciones que muestran valores de repetibilidad estadísticamente significativas para ambas variables ($P \leq 0,05$ y $P \leq 0,01$).

Los coeficientes de correlación genéticos entre todos los posibles pares de cuatro localidades (Cuadro 3) se ubicaron, en su mayoría, dentro del rango de intermedio a alto con repetibilidades que oscilaron entre $r = 0,32$ y $r = 1,06$. Estos valores de repetibilidad genética fueron mayores que los obtenidos en el análisis de la repetibilidad fenotípica. Un coeficiente de correlación alto (cercano o igual a la unidad) indicaría que los mismos genes (o genes similares) están condicionando el carácter bajo estudio en ambas localidades. Con algunas excepciones, los valores de repetibilidad genética para ambos caracteres (TCH y Pol % caña) fueron más altos a final de la zafra. Entre variables, los valores de los coeficientes de repetibilidad para la variable Pol % caña fueron mayores que los de la variable TCH y en algunos casos igualan o se acercan bastante a la unidad, esto indicaría una menor influencia del ambiente sobre la variable Pol % caña que sobre la variable TCH.

Cuadro 2. Repetibilidad fenotípica entre localidades (TCH sobre la diagonal, Pol % caña bajo la diagonal) en dos épocas de zafra de caña de azúcar

Localidades		Veroes	Matilde	El Rodeo	Río Turbio
Veroes	Inicio zafra	-----	0,37 ± 0,26	0,36 ± 0,26	0,70 ± 0,16**
	Final zafra		0,59 ± 0,20*	0,62 ± 0,19**	0,49 ± 0,23*
Matilde	Inicio zafra	0,20 ± 0,29	-----	0,03 ± 0,30	0,41 ± 0,25
	Final zafra	0,33 ± 0,27		0,59 ± 0,20*	0,44 ± 0,24
El Rodeo	Inicio zafra	0,44 ± 0,24	0,58 ± 0,20*	-----	0,47 ± 0,23*
	Final zafra	0,36 ± 0,26	0,62 ± 0,19**		0,70 ± 0,16**
Río Turbio	Inicio zafra	0,49 ± 0,23*	0,23 ± 0,29	0,44 ± 0,24	-----
	Final zafra	0,20 ± 0,29	0,30 ± 0,28	0,31 ± 0,27	

*, ** Diferente de cero para $P \leq 0,05$ y $P \leq 0,01$, respectivamente

Los valores de repetibilidad genética (Cuadro 3) fueron relativamente altos para la asociación entre las localidades de Río Turbio y El Rodeo, especialmente para la variable TCH a finales de zafra ($r = 0,94$). También a finales de zafra, pero en este caso para la variable Pol % caña, las asociaciones más altas se presentaron entre las localidades Matilde y El Rodeo ($r=0,95$), Matilde y Río Turbio ($r = 0,91$), Veroes y El Rodeo ($r = 0,96$) y Veroes y

Matilde donde para todos los efectos la correlación es igual a la unidad ($r = 1,06$). En todos estos casos de asociaciones con coeficientes de correlación altos, se puede decir que la interacción genotipo x ambiente no es significativa y que el orden que presente un grupo de variedades de caña de azúcar para una determinada variable en una localidad se mantendría prácticamente inalterable en la otra localidad que interviene en la asociación.

Cuadro 3. Repetibilidad genética entre localidades (TCH sobre la diagonal, Pol % caña bajo la diagonal) en dos épocas de zafra de caña de azúcar

Localidades		Veroes	Matilde	El Rodeo	Río Turbio
Veroes	Inicio zafra	-----	0,50 ± 0,24*	0,61 ± 0,21*	0,84 ± 0,09**
	Final zafra		0,72 ± 0,15**	0,65 ± 0,18**	0,60 ± 0,19**
Matilde	Inicio zafra	0,47 ± 0,30	-----	0,17 ± 0,34	0,68 ± 0,18**
	Final zafra	1,06 ± 0,06**		0,76 ± 0,13**	0,56 ± 0,20*
El Rodeo	Inicio zafra	0,73 ± 0,16**	0,79 ± 0,15**	-----	0,66 ± 0,18**
	Final zafra	0,96 ± 0,03**	0,95 ± 0,04**		0,94 ± 0,03**
Río Turbio	Inicio zafra	0,75 ± 0,15**	0,62 ± 0,23*	0,69 ± 0,17**	-----
	Final zafra	0,32 ± 0,34	0,91 ± 0,08**	0,62 ± 0,24*	

*, ** Diferente de cero para $P \leq 0,05$ y $P \leq 0,01$, respectivamente

Para la variable TCH el valor más bajo de repetibilidad genética lo presentó la asociación entre las localidades El Rodeo y Matilde a inicio de zafra ($r = 0,17$) indicando que los genes que condicionan el carácter TCH no son exactamente los mismos en cada una de esas dos localidades. Así mismo, los materiales que destaquen en producción de caña por hectárea serían diferentes en cada localidad producto de la interacción genotipo x ambiente. Este mismo

comportamiento se observa entre las localidades Veroes y Río Turbio ($r = 0,32$) y Veroes y Matilde ($r = 0,47$) para la variable Pol % caña a finales e inicio de zafra, respectivamente.

Los valores de repetibilidad fenotípica y genética entre épocas de zafra (inicio y final de zafra) dentro de una localidad para la variable TCH fueron, en general, similares en magnitud a las de la variable Pol % caña (Cuadro

4). Con algunas excepciones, los valores se ubicaron en el rango de intermedio a alto; la principal excepción se encontró en la localidad Matilde y la variable Pol % caña ($r = 0,20$). Estos valores indicarían la necesidad de mantener activas las dos épocas de zafra a fin de ubicar los materiales adecuados a cada situación. Contrario a lo anterior, la localidad de Río Turbio presentó valores altos de repetibilidad fenotípica y genética para ambas variables. Esto

indica que, probablemente, una sola época sería suficiente debido a que cualquier avance obtenido en una época resultaría en un avance similar en la otra época de zafra. El mismo criterio podría ser aplicado en la localidad de Veroes donde, en caso de ser necesario, una sola época (inicio de zafra) debería ser suficiente para estimar adecuadamente las variables TCH y Pol % caña.

Cuadro 4. Estimación de la repetibilidad fenotípica y genética entre épocas de zafra

Variables	Repetibilidad	Localidades			
		Veroes Ep. I ¹ vs Ep. II	Matilde Ep. I vs Ep. II	El Rodeo Ep. I vs Ep. II	Río Turbio Ep. I vs Ep. II
TCH	Fenotípica	0,53 ± 0,22*	0,54 ± 0,21 *	0,45 ± 0,24	0,70 ± 0,15**
	Genética	0,63 ± 0,18**	0,86 ± 0,09**	0,52 ± 0,24*	0,82 ± 0,10**
Pol % caña	Fenotípica	0,62 ± 0,19**	0,20 ± 0,29	0,43 ± 0,25	0,59 ± 0,20*
	Genética	0,92 ± 0,05**	0,52 ± 0,20*	0,74 ± 0,16**	1,06 ± 0,04**

¹ Época I = inicio de zafra; Época II = final de zafra

*, ** Diferente de cero para $P \leq 0,05$ y $P \leq 0,01$, respectivamente

En el Cuadro 5 se muestran los valores de heredabilidad en sentido amplio (h_w^2), observándose que la variable TCH presenta valores de h_w^2 más altos que Pol % caña. Con respecto a las localidades Veroes y Río Turbio estas presentaron valores de h_w^2 altos y similares para ambas variables. Esto indicaría una menor influencia del ambiente sobre el genotipo de los

materiales que se prueben en estas dos localidades y corrobora los resultados de repetibilidad entre épocas de zafra donde se determinó que Matilde y El Rodeo son áreas susceptibles a la influencia ambiental, de baja repetibilidad y donde es necesario realizar múltiples mediciones para estimar apropiadamente el valor de las variables TCH y Pol % caña.

Cuadro 5. Estimación de la heredabilidad de dos variables en cuatro localidades y dos épocas de zafra

Variables	Épocas	Heredabilidad en sentido amplio			
		Veroes	Matilde	El Rodeo	Río Turbio
TCH	Inicio zafra	0,80 ± 0,34*	0,59 ± 0,29*	0,55 ± 0,28	0,83 ± 0,35*
	Final zafra	0,81 ± 0,34*	0,77 ± 0,33*	0,74 ± 0,33*	0,87 ± 0,36*
Pol % caña	Inicio zafra	0,60 ± 0,29*	0,38 ± 0,23	0,53 ± 0,27	0,70 ± 0,32*
	Final zafra	0,56 ± 0,27*	0,30 ± 0,22	0,56 ± 0,26*	0,45 ± 0,26

*, ** Diferente de cero para $P \leq 0,05$ y $P \leq 0,01$, respectivamente

CONCLUSIONES

El inicio de la zafra resultó ser la época más crítica (menor repetibilidad entre localidades) debido a una mayor interacción genotipo x ambiente.

En las localidades de Veroes y Río Turbio la selección sería igual de efectiva utilizando solamente una época de zafra.

La selección de clones de caña de azúcar en las localidades de Matilde y El Rodeo sería más efectiva de incluirse una nueva época a mediados de zafra.

Los resultados de heredabilidad en sentido amplio corroboraron los resultados de repetibilidad e indican a Matilde y El Rodeo como las localidades con mayor porcentaje de variabilidad fenotípica debida a factores

ambientales.

Las cuatro localidades presentaron altas diferencias entre sí por lo que deben mantenerse activas para lograr un estimado adecuado del valor de las variables de rendimiento y Pol % caña.

AGRADECIMIENTO

A Anfer Ortíz, Milagros Niño y José George por su valiosa colaboración en las actividades de campo.

LITERATURA CITADA

1. De Sousa-Vieira, O. y S. B. Milligan. 1999. Intrarow plant spacing and family x environment interaction effects on sugarcane family evaluation. *Crop Sci.* 39: 358-364.
2. Deventer, C. V. y N. W. Mc Laren. 1986. Clonal repeatability in early stages of sugarcane selection. *Proceedings of the South African Maize Breeding Symposium* 202: 67-70.
3. Dickerson, G. E. 1969. Techniques for research in quantitative animal genetics. *In*: A. B. Chapman (ed.) *Techniques and Procedures in Animal Science Research*. Am. Soc. Anim. Sci. Q Corp., New York. pp. 36-79.
4. Efron, B. y R. J. Tibshirani. 1994. *An Introduction to the Bootstrap Monographs on Statistics and Applied Probability*. Chapman and Hall, New York.
5. Falconer, D. S. 1966. Comments on heritability and repeatability. *Int. Soc. Sugar Cane Technol. Sugarcane Breeders. Newsletter* 18:15-17.
6. Falconer, D. S. 1989. *Introduction to Quantitative Genetics*. Longman, London.
7. Glaz, B., J. D. Miller, P. Y. P. Tai, C. W. Deren, M. S. Kang, P. M. Lyrene y B. S. Gill. 2002. Sugarcane genotype repeatability in replicated selection stages and commercial adoption. *J. Am. Soc. Sugar Cane Technol.* 22: 73-88.
8. Kang, M. S., J. D. Miller y P. Y. P. Tai. 1984. Clonal and individual repeatability of agronomic traits in sugarcane. *J. Am. Soc. Sugar Cane Technol.* 3:22-27.
9. Miller, J. D. y N. I. James. 1975. Selection in six crops of sugarcane. I. Repeatability of three characters. *Crop Sci.* 15:23-25.
10. Ramdoyal, K. 1999. Genetic correlation and repeatability for agronomic characters in sugar cane populations in contrasting environments and different crop years. *Sugar Cane* 4: 6-12.