

***FUNCIONALIDAD PARA LA ETAPA CLONAL DE LA RED DE
AMBIENTES DEL INSTITUTO IRANI DE INVESTIGACIONES Y
ENTRENAMIENTO DE LA CAÑA DE AZÚCAR***

***FUNCTIONALITY TO CLONAL STAGE OF THE IRANIAN SUGARCANE
RESEARCH AND TRAINING INSTITUTE ENVIROMENT NETWORK***

Héctor García Pérez^{1}, Masoud Parvizi Alemanni², Rolando M. González Acosta¹,
Hassan Hamdi² y Reynaldo Rodríguez Gross¹*

¹ Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar, Carretera CUJAE Km 2½, La Habana, Cuba

² Iranian Sugarcane Research & Training Institute, (IRATIS), Juzestán, Irán

Recibido: Junio 11, 2014; Revisado: Julio 31, 2014; Aceptado: Septiembre 8, 2014

RESUMEN

El desarrollo del cultivo de la caña de azúcar en Irán ha condicionado el establecimiento de un programa de mejora genética, que requiere de una red de ambientes para hacer eficiente el proceso de selección de nuevos cultivares. El Instituto de Investigaciones y Entrenamiento de la Caña de Azúcar, rector del programa, ha implementado un grupo de ambientes que dan respuesta a la selección de posturas, sin embargo fue objetivo del presente trabajo verificar su funcionalidad para la etapa de selección clonal. Con ese fin se plantaron 15 combinaciones representativas del programa de cruzamientos en tres localidades de la red y se evaluaron durante dos cosechas (seis ambientes). De acuerdo con los estimados precisos del componente de varianza de la interacción genotipo ambiente, la efectividad de la selección clonal para el porcentaje de azúcar recuperable y la producción de azúcar, requiere de más de un ambiente, lo que contribuirá a mitigar el alto efecto ambiental evaluado. Se confirmó la funcionalidad de la red y se proponen dos variantes para su optimización en función de los recursos disponibles.

Palabras clave: caña de azúcar, Juzestán Irán, optimización, red ambiental, selección clonal

Copyright © 2014. Este es un artículo de acceso abierto, lo que permite su uso ilimitado, distribución y reproducción en cualquier medio, siempre que la obra original sea debidamente citada.

* Autor para la correspondencia: Nombre y primer apellido, Email: hectorgp@inica.azcuba.cu

ABSTRACT

The development of sugarcane as a major crop in Iran has allowed the establishment of a Breeding Program that requires of a set of environments to make efficient the process for new cultivar selection. The Sugarcane Research And Training Institute has implemented a group of environments for seedling selection. The objective of the present work was to verify the functionality for the clonal selection stage of this experimental network. In order to fulfill this goal, it were planted 15 representatives combinations of the crossing program in three experimental sites and they were evaluated during two crops cycles (six environments). The analysis of variance showed the requirements of more than one environment for percentage of recoverable sugar and sugar production for an effective clonal selection reducing the high environmental effect. It was confirmed the functionality of the network and it was proposed two alternatives for their optimization in function of the available resources.

Key words: sugarcane, Juzestan Iran, optimization, environment network, clonal selections

1. INTRODUCCIÓN

La expansión del cultivo de la caña de azúcar al sur de Irán en la provincia Juzestán, es una realidad a partir de sus amplias potencialidades. El objetivo es ampliar las capacidades de producción de azúcar, satisfacer la demanda interna de 2,2 millones de toneladas y alcanzar la máxima diversificación. Este desarrollo ha incrementado de manera significativa la jerarquía de la caña de azúcar como cultivo de importancia industrial, con un desplazamiento paulatino de la remolacha azucarera.

Estratégicamente, de manera paralela, se ha establecido un programa de mejora genética para la obtención de variedades nacionales, con el objetivo de reemplazar los pocos cultivares comerciales actualmente en uso, importados, con muchos años de explotación y muy limitados por las afectaciones que presentan ante patologías importantes como el carbón y la roya.

El Instituto de Investigaciones y Entrenamientos de la Caña de Azúcar (IRATIS) es el rector del programa y para ello dispone de una red de ambientes de selección (cuatro localidades con cosechas de planta y retoño) cuya aptitud ya fue corroborada para la etapa inicial de posturas (Hamdi, 2009), sin embargo su funcionalidad para la etapa clonal no ha sido dilucidada, si se tienen en cuenta las diferencias entre ambas etapas respecto al tamaño de parcelas y los criterios de selección que se aplican.

El presente trabajo se desarrolló con la finalidad de verificar la funcionalidad para la selección clonal de la red de ambientes del Instituto de Investigaciones y Entrenamiento de la Caña de Azúcar (IRATIS) de Irán.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

En noviembre de 2006 se estableció una población clonal procedente de 15 combinaciones biparentales representativas del plan de cruzamiento del programa de mejora genética (Tabla 1) en las localidades de la red de ambientes de IRATIS: Amir Kabir (L1), Imán Jomeini (L2) y Mian Ab (L3).

Tabla 1. Combinaciones biparentales estudiadas

<i>Familia</i>	<i>Combinación</i>	<i>Familia</i>	<i>Combinación</i>
C1	C229-84 × CSG88-359	C9	Ja64-19 × C90-105
C2	C86-12 × CP70-1133	C10	M165/38 × C90-647
C3	C86-165 × C86-546	C11	CP52-43 × Mex66-1235
C4	C90-315 × C87-51	C12	CP65-315 × CP48-103
C5	C90-501 × C86-531	C13	B45181 × C88-553
C6	C90-502 × Ja64-20	C14	CP56-63 × C90-469
C7	CP65-392 × Co421	C15	C227-59 × C86-503
C8	NA54-96 × CSG87-581		

El diseño de campo de los tres experimentos fue el de bloques al azar con tres repeticiones en el que cada familia biparental estuvo constituida por una muestra aleatoria de 60 clones con toda la variabilidad de la etapa de selección precedente (posturas sin seleccionar), las que fueron divididas en grupos de 20 para conformar tres réplicas. Las parcelas fueron de 3,7 m² (dos surcos dobles de 2 m separados entre sí de centro a centro a 1,83 m). En una misma hilera la distancia entre parcelas fue de 1 m. Conjuntamente con las familias y en parcelas similares fueron plantados los cultivares controles CP48-103 y CP69-1062 de contenido azucarero medio y maduración del segundo tercio de la zafra en adelante, así como CP57-614 de alto contenido azucarero y maduración en el primer tercio de zafra (temprana), líderes por su extensión actual en áreas comerciales.

Las evaluaciones se realizaron entre la última decena de septiembre y la primera de noviembre (12-13 meses de edad), en las cepas de caña planta (C1) y retoño (C2), correspondiente a un período de estimulación de la maduración al suprimir el riego (práctica tecnológica habitual) y el predominio de estrés hídrico por la ausencia de precipitaciones. A este período también contribuyeron las temperaturas bajas (mínimas entre 14,1 y 10,8°C con valores extremos de 4°C).

Los caracteres que se tuvieron en cuenta fueron porcentaje de azúcar recuperable, resultado del análisis de laboratorio de una muestra de 40 tallos por replica, cuyo peso, conjuntamente con la población de la parcela, se utilizó para estimar el rendimiento agrícola (t caña.ha⁻¹) y el rendimiento de azúcar (azúcar recuperable x rendimiento agrícola). Todas las evaluaciones anteriores se realizaron según las normas metodológicas establecidas por IRATIS (Hamdi y col., 2003) y los instrumentos y equipos de medición empleados estaban metrológicamente aptos, calibrados y/o verificados en correspondencia con las normas del país.

Los datos fueron comprobados respecto a su normalidad, homogeneidad de varianza y aditividad (Mead *et al.*, 2003). La existencia de interacciones genotipo-ambiente fue dilucidada a través de un análisis de varianza de clasificación doble, modelo de efectos aleatorios (Cochran y Cox, 1965), para conocer la contribución de las familias (genotipos), el ambiente y su interacción a la varianza fenotípica total, todo ello con la ayuda del paquete estadístico SPSS para Windows versión 20.0.0 (2012).

Para verificar la funcionalidad de la red, se clasificaron los ambientes mediante el modelo multivariado de efectos principales de los genotipos, más efectos de la

interacción genotipo-ambiente, conocido como Regresión de Sitios (SREG), donde los efectos principales de los genotipos se envían al residual junto con la interacción genotipo-ambiente, y son tratados de forma multivariada, mediante análisis de componentes principales (Yan y Tinker, 2006).

A partir de la descomposición en valores y vectores singulares del efecto del genotipo más la interacción del genotipo-ambiente (), se obtiene la representación bidimensional (*biplots*), resultado de unir en un plano bidimensional los “marcadores” de genotipos y ambientes para lo cual se utilizó el programa informático *biplotv1.1* (Smith, 2002). Estos “marcadores” se obtuvieron al multiplicar el valor singular λ a los resultados de los vectores de genotipos (ug) y ambientes (ve), a través de una escala simétrica ($\lambda 0,5ug$ y $\lambda 0,5ve$). Por razones de espacio y por la marcada coincidencia ente los resultados de las representaciones de los caracteres analizados, solo se muestran en el presente artículo las figuras correspondientes a la producción de azúcar, por poseer además la peculiaridad de su carácter integrador de los restantes.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Resultaron precisos los estimados de los componentes de varianza de familia en el caso del porcentaje de azúcar recuperable y la interacción genotipo ambiente para ese mismo carácter y el rendimiento en azúcar, aunque en todos los casos las mayor contribución a la variación total correspondió al ambiente, seguido de la interacción (Tabla 2), resultados en plena correspondencia con lo planteado por Bull *et al.* (2010) y Delgado *et al.* (2012). Por las razones anteriores, se requiere entonces para la etapa clonal, de más de un ambiente para que la selección sea efectiva, ello confirma la funcionalidad de la red actualmente en uso.

Tabla 2. Estimados de los componentes de varianza para los caracteres evaluados

Componentes de varianza	Rendimiento Agrícola (t caña.ha ⁻¹)		Porcentaje de azúcar recuperable (%)		Rendimiento de azúcar (%)	
	$\sigma^2 \pm E.E.$	PVT	$\sigma^2 \pm E.E.$	PVT	$\sigma^2 \pm E.E.$	PVT
Familias (G)	0,74 ± 5,14	0,19	0,16 ± 0,07 *	11,25	0,04 ± 0,07	1,30
Ambiente (E)	177,04 ± 97,08	46,24	0,54 ± 0,30	37,82	0,91 ± 0,51	31,05
G X A	21,04 ± 13,80	5,49	0,21 ± 0,06 *	14,48	0,36 ± 0,15 *	12,38
Error	184,02 ± 12,46 *	48,07	0,52 ± 0,04 *	36,45	1,62 ± 0,11 *	55,26

σ^2 . Componente de varianza, E.E. Error estándar, PVT. Porcentaje de la varianza total, *. Estimado preciso ($2\sigma^2$)

La planificación de cruces específicos para los ambientes que se decida utilizar para la etapa clonal puede contribuir también con la efectividad de la selección, pues así lo sugiere lo engorroso y costoso del trabajo de evaluación y selección en esa etapa.

El uso del modelo de Regresión de Sitios permitió constatar, que el efecto de los genotipos más la interacción genotipo-ambiente ascendió a 75,3%, según los valores de las componentes principales 1 y 2 (Figura 1). De esa forma las representaciones bidimensionales para la clasificación de ambientes, de las relaciones entre las familias, ambientes y su interacción resultan adecuadas (Yan et al., 2007).

Los seis ambientes evaluados se agruparon en cuatro macroambientes, Imán Jomeini de manera independiente conformó uno (L2C1 y L2C2, polígono de parte inferior derecha Figura 1). Igualmente no se presentaron asociados a ningún otro ambiente, las cosechas de caña planta de Amir Kabir (L1C1, polígono correspondiente a la parte inferior izquierda) y Mian Ab (L3C1, polígono de la parte superior). Sólo podrán ser optimizados los ambientes de retoño de Amir Kabir (L1C2) o de Mian Ab (L3C2), por estar dentro de una misma subregión así como una de las cepas correspondientes a Imán Jomeini.

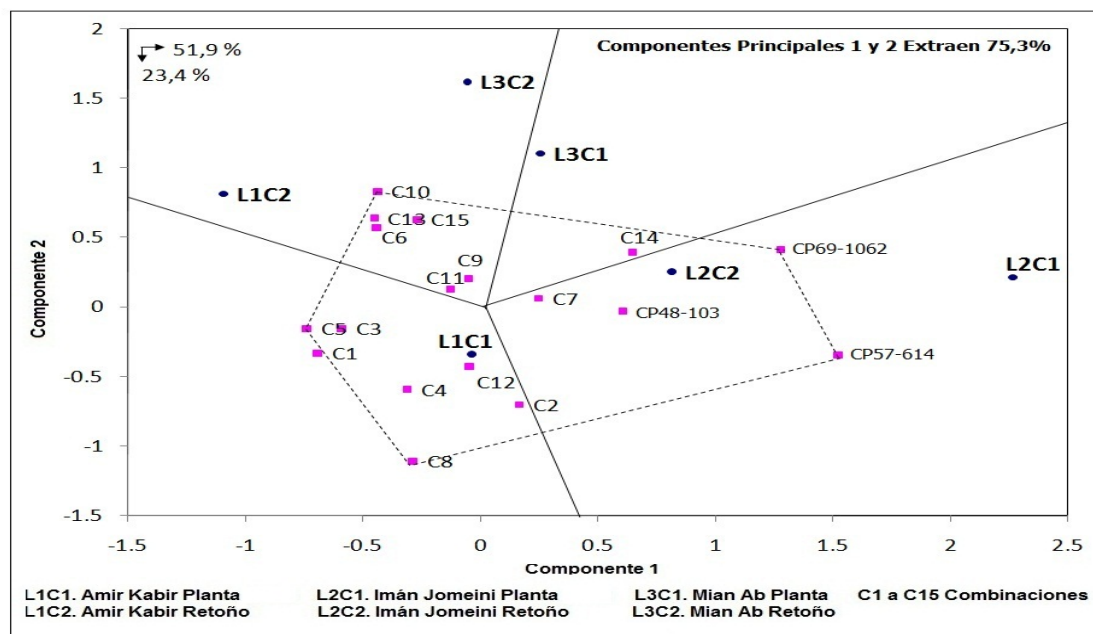


Figura 1. Representación bidimensional del agrupamiento de los ambientes para la producción de azúcar

Yan *et al.* (2007) señalaron que una de las ventajas más atractivas de este *biplot* es la capacidad de agrupar las localidades en “macroambientes” o subregiones, lo que facilitaría la clasificación y optimización de ambientes, aspecto corroborado en esta investigación.

Los resultados anteriores están en correspondencia con Glaz y Kang (2008), quienes pudieron reestructurar la red de sitios experimentales del Programa de Mejora de la caña de azúcar de La Florida, Estados Unidos, mediante la utilización también del modelo de Regresión de Sitios, en un estudio con 17 genotipos y nueve localidades, basados en la contribución de las localidades de prueba, en cuanto a su capacidad de discriminación de los genotipos.

El ambiente más representativo resultó Imán Jomeini retoño (L2C2), ubicado en el segundo anillo (Figura 2) y más próximo al ambiente ideal (anillo de menor radio), resultado que lo ratifica como la mejor opción para una red en su mínima expresión, que podría adoptarse en condiciones de contingencia. Numerosos son los reportes en la literatura (Milligan *et al.*, 1990; Mariotti *et al.*, 2001), donde se opta en las primeras etapas de selección por la cepa de retoño para la definición de los individuos que transitarán a una etapa superior, lo que está en plena coincidencia con disponer de la

cepa de retoño de Imán Jomeini como el ambiente más efectivo para la selección clonal en Irán.

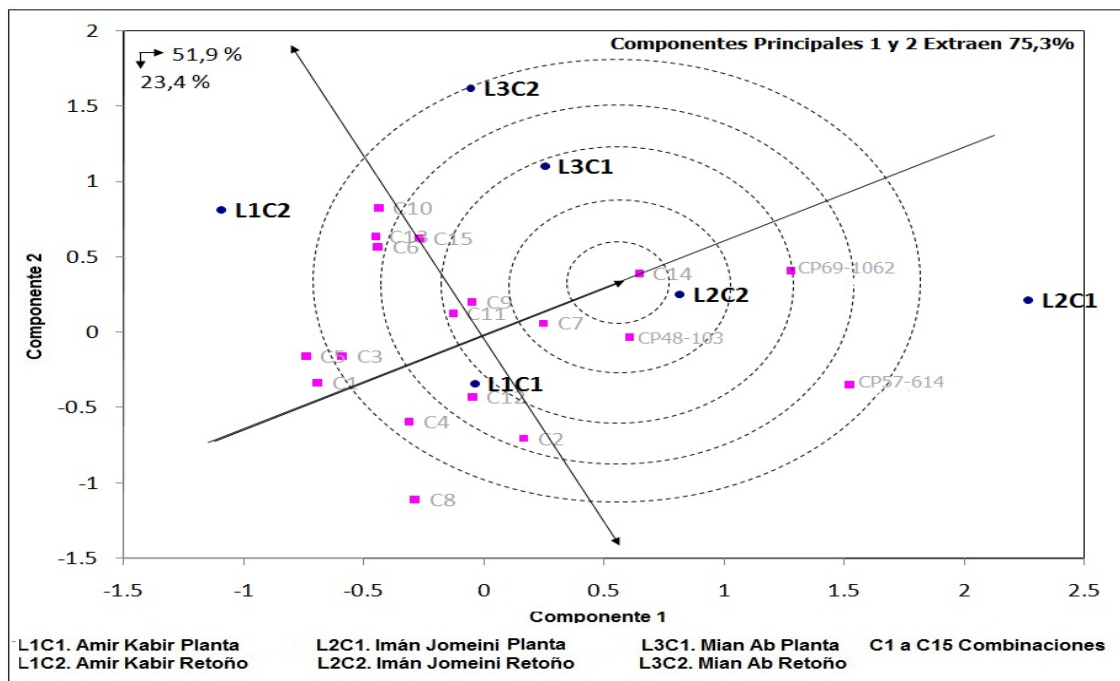


Figura 2. Plano de las Componentes Principales 1 y 2 del ambiente más representativo para la producción de azúcar

La integración de los resultados indica que el uso de seis ambientes (tres localidades y dos cepas), puede simplificarse sin afectar la eficiencia de la selección. La variante más austera sería disponer de Imán Jomeini (L2) y efectuar la selección solo en retoño, por su alto grado de representatividad y amplio poder de discriminación. Si la disponibilidad de recursos permitiera el uso de más de un ambiente, la mejor opción sería agregar a Mian Ab (L3) también en retoño, optimizándose los ambientes correspondientes a caña planta de éstas dos localidades, así como los de Amir Kabir.

4. CONCLUSIONES

1. La red de ambientes actual resulta necesaria para el aprovechamiento eficiente de la interacción genotipo-ambiente en la etapa clonal, dado la magnitud de la misma y del efecto ambiental.
2. En función de los recursos disponibles puede ser optimizada la red en dos variantes: Imán Jomeini retoño para contingencia o disponibilidad de escasos recursos (un solo ambiente) y para condiciones económicas normales, dos ambientes (se adiciona Mian Ab), serán suficientes, con un alto grado de representatividad y poder de discriminación.

REFERENCIAS

Bull, J.K., Hogarth, D.M., and Basford, K.E., Impact of genotype multiply environment interaction on response to selection in sugarcane., Australian Journal of Experimental Agriculture, Vol. 32, No 6, 2010, pp. 731- 737.

- Cochran, W.G. y Cox G.M.. Diseños experimentales., 4ta re-impresión, México, D.F. Edit. F. Trillas, 1965, pp. 661
- Delgado, I., Ruiz R., Gómez, J.R., González, H., Díaz, F.R., Aday, O., y Manresa M., Caracterización de variedades de caña de azúcar en condiciones de secado, en diferentes empresas azucareras de la provincia de Villa Clara., *Revista Cuba & Azúcar*, No. 1, 2012, pp. 71-76.
- Glaz, B. and Kang, S. M., Location Contributions Determined via GGE Biplot Analysis of Multi-environment Sugarcane Genotype-Performance Trials., *Crop Sci.* Vol. 48, 2008, pp. 941-950.
- Hamdi, H., Parvizi, M., Bani, Abbasi, N., y Abrantes, I., Normas metodológicas para la selección de la caña de azúcar en Irán., *Trad. Sugarcane Bull, Sugar Cane and By-Products Dev. Co.*, Vol. 72, 2003, pp. 53-59.
- Hamdi, H. Bases para el establecimiento de un programa de mejora genética de la caña de azúcar para las condiciones de estrés ambiental de la provincia Khuzestán, Irán., Tesis presentada en Opción al Grado Científico de Doctor en Ciencias Agrícolas, INICA, SCBD Co., UNAH, 2009, pp.98.
- Mariotti, J. A., Cuenya, M. I. y García de Salas, M. B., El comportamiento de familias en la mejora genética de algunos componentes de la calidad industrial de la caña de azúcar (*Saccharum spp.*), *Rev. Industrial y Agrícola de Tucumán*, Vol. 77, No. 2 2001, pp. 49-57.
- Mead, R., Curnow, R.N. and Hasted, A.M.,. *Statistical Methods in Agriculture and Experimental and Biology.*, 3rd ed., Chapman & Hall/CRC, 2003, pp. 472.
- Milligan, S.B., Gravois, K.A., Bischoff, K.P. and Martin, F.A. Crop effects on genetic relationships among sugarcane traits., *Crop Science*, Vol. 30, 1990, pp. 927-931.
- Smith, E.P., 2002, Biplot program. Statistics Department of Virginia Tech., [Consultado 15, enero, 2010]. Disponible en: <http://www.stat.vt.edu/facstff/epsmith.html>
- SSPS 2012. IBM® SPSS Statistics., Versión 20, Software estadístico en formato digital.
- Yan, W., Kang, M.S., Ma, B., Woods, S. and Cornelius, P.L., GGE biplot vs. AMMI analysis of genotype-by-environment data., *Crop Sci.* Vol. 47, 2007, pp. 643-655.
- Yan, W. and Tinker, N.A., Biplot analysis of multi-environment trial data: Principles and applications., *Can. J. Plant Sci.*, Vol. 86, 2006, pp. 623-645.