AVANCES EN LOS CRUZAMIENTOS DE CAÑA DE AZÚCAR EN CUBA

ADVANCE OF SUGARCANE CROSSING IN CUBA.

Víctor Manuel Caraballoso Torrecilla, Héctor García Pérez, José María Mesa.

#### Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar (INICA). Carretera a la CUJAE, Km 1½ Boyeros, CP 19390, La Habana, Cuba

E mail. [vcaraballoso036@gmail.com](mailto:vcaraballoso036@gmail.com)

Resumen

El Programa de Mejoramiento de la Caña de Azúcar en Cuba trabaja en la obtención de nuevos cultivares de alto rendimiento, resistentes a las principales plagas y que permitan mejorar la rentabilidad y la sostenibilidad de la agroindustria azucarera. El objetivo de este trabajo fue mostrar los avances en el proceso de cruzamientos entre progenitores, para incrementar la producción de posturas híbridas, que permita explotar al máximo la variabilidad genética disponible. Para ello se definieron los mejores ambientes para el desarrollo de los cruces, variables independientes en el análisis de varianza, que incluyeron localidades ubicadas a diferentes altitudes, técnica de manejo del tallo con la flor femenina en el cruce y formas de cubrir las flores de cada cruzamiento. En todos los casos la variable dependiente empleada fue la producción de posturas. Se encontró que los cruzamientos se pueden hacer en Guayos y Buenos Aires, dentro de cabinas y con las técnicas de margullo y/o solución + margullo, para lograr los más altos valores de producción de posturas y explotar la mayor variabilidad dentro del cruce.

Palabras clave: caña de azúcar, ambiente de cruces, posturas híbridas.

Abstract

The Cuba Sugarcane Breeding Program i works to obtain new high-yielding cultivars that are resistant to the main pests and that will improve the profitability and sustainability of the sugar agribusiness. The objective of this work is to show the advances in the process of crossbreeding between parents, to increase the production of seedling hybrid, which allows the maximum exploitation of the available genetic variability. This work was done to define the best environments for the development of the crosses, independent variables in the analysis of variance, which included localities at different altitudes, management technique of the stem with the female flower in the cross and ways to cover the flowers, of each cross. In all cases, the dependent variable used was the production of seedling. As a result, it was found that crosses can be made in Guayos and Buenos Aires, inside cabins and with marcotting and/or solution + marcotting techniques, to achieve the highest values ​​of seedling production and exploit the greatest variability within the cross.

Key words: sugar cane, cross environment, seedling hybrid.

Introducción

La necesidad de ampliar la base genética ha sido una preocupación en los programas de mejora en el mundo, para ello se emplea la recombinación sexual entre germoplasma de interés comercial con los procedentes de un programa de ampliación de la base exploratoria (Dumont *et al*., 2022). Una tendencia actual es tener conocimiento de la diversidad genética con que se cuenta, a partir de marcadores moleculares que identifiquen los recursos genómicos completos para el rendimiento de la caña, el azúcar, las tolerancias a los estreses bióticos y abióticos y otras características agronómicas (Mahadevaiah *et al*., 2021).

En Cuba, la hibridación se realiza en la zona central de país, donde se aprovecha la cercanía de las montañas para producir flores y cruzarlas en las instalaciones ubicada en las llanuras de Guayos, donde se produce continuamente semilla híbrida. En 1999 se convirtió en Centro Nacional de Hibridación (CNH), desde 2013 cuenta con un programa de cruces conformado por un grupo de expertos, en 2015 inició la explotación completa de la Casa de cruzamientos y en 2016 se incorporó un transporte equipado para mover flores hacia el área de cruces. Recientemente se propuso una metodología que permite clasificar la combinación de progenitores basada en su Valor Genético (Rodríguez *et al*., 2020).

A pesar de que en Cuba se ha trabajado con lo más destacado del germoplasma existente en el país, los avances de la selección, tanto para el rendimiento agrícola como el azucarero, puede considerarse discreto y no sostenible en el tiempo en los últimos 20 años. Se requiere entonces implementar cambios en los procedimientos que permitan ampliar la base genética y reducir los niveles de coancestría, a través de la validación del programa de cruzamientos y la renovación de los progenitores para dar continuidad a la mejora genética, con determinada flexibilidad para aquellos de altos potenciales y susceptibles a plagas (García *et al*., 2022).

Este trabajo, con tanta variabilidad genética, trae dificultades con la sincronización de la floración, la fertilidad masculina, incompatibilidad entre los progenitores y otras. Resolver esta problemática ha estado en el centro de la institución, por lo que se acomete un amplio proceso inversionista, el que debe estar apoyado por un amplio programa de investigaciones donde se tengan en cuenta todas las aristas del problema. Por ello, el objetivo de este trabajo fue mostrar los avances en el proceso de cruzamientos entre progenitores, para incrementar la producción de posturas híbridas, que permita explotar al máximo la variabilidad genética disponible en el Centro Nacional de Hibridación de Sancti Spíritus.

Materiales y métodos

El trabajo se ejecutó el Centro Nacional de Hibridación (CNH) de Cuba, cuya sede central se encuentra en Guayos, provincia Sancti Spíritus. Se definieron las mejores condiciones para el desarrollo de los cruces, variables independientes en el análisis de varianza (ANOVA), que incluyeron la formas de cubrir las flores de cada cruzamiento, localidades ubicadas a diferentes altitudes y técnica de manejo del tallo con la flor femenina. En todos los casos la variable dependiente empleada en los ANOVA fue la producción de posturas/g de semilla, de cada combinación de progenitores en los cruzamientos, representada por tres réplicas y medida al hacer germinar 1 gramo de semilla de cada panícula (varianza dentro del cruce).

Todos los cruces fueron cosechados, 30 días posteriores al montaje y la semilla procesada en el laboratorio ubicado en Guayos, tanto los cruces como la semilla fueron conducidos según las normas metodológicas del departamento de mejoramiento genético (Caraballoso *et al*., 2002). Los progenitores empleados fueron utilizados de forma aleatoria dentro de aquellos que forman parte del programa de cruces, proyectados por los expertos y aprobados por el departamento de Mejoramiento Genético de la caña de azúcar en Cuba.

Tipo de cobertores de las flores.

Durante la campaña 2018-2019, se probaron 20 combinaciones de progenitores en la localidad de Guayos, repetidas en dos formas y tipos de materiales de cobertura de las flores que se emplean en los cruces.

1. Bolsos de lienzos
2. Cabinas de plásticos traslúcidos

Localidades:

En la campaña de hibridación 2019-2020, se montaron en apareamiento, las mismas siete combinaciones de progenitores, dentro de cabinas rústicas construidas en tres localidades del centro sur de Cuba, empleadas para la obtención de flores en el CNH: Guayos (100 msnm); Buenos Aires (400 msnm, en las alturas de Sancti Spíritus) y Mayarí (800 msnm, en las alturas de Trinidad).

Técnica de manejo de los tallos con flores femeninas en los cruces dentro de dos localidades

En la campaña de hibridación 2020-2021, se probaron las mismas 26 combinaciones de progenitores en la localidad de Guayos y otras 44 en la localidad de Buenos Aires, con dos formas de manejo de los tallos con las flores femeninas, dentro del cruce.

1. Margullo: Consiste en cubrir con un nailon, que se llena de un sustrato a base de suelo y materia orgánica, la parte superior de cada tallo seleccionado, que debe tener el primer síntoma de la flor (fase de alargamiento). Al momento de que la flor esté lista para ser empleada como femenina, el tallo se corta, si está enraizado y se lleva al área de cruce, por tanto se necesita que la flor este lista y que el tallo esté enraizado, caso contrario no se puede emplear en el cruce.
2. Solución + margullo (SM): Al momento de que la flor esté lista para ser empleada como femenina, el tallo, con su flor se corta y se lleva al área de cruce, donde se le realiza un margullo en la parte central del tallo (igual que el descrito en el caso anterior). Solo se necesita que la flor cumpla con la condición de estar lista. El tallo, con su flor y margullo se coloca dentro de una solución nutritiva y preservativa. La porción con el margullo debe de emitir raíces, pero esta condición no es excluyente.

Resultados y Discusión

Cobertura de las flores en los cruces

En el análisis de varianza, a pesar que no se muestra, todas las fuentes de variación tuvieron diferencias muy altamente significativas (p < 0,001), solo se muestra el resumen de la interacción combinación x cobertura de las flores (Tabla 1).

Tabla 1. Resumen del número de combinaciones que fueron igual (sin diferencias) y diferentes para dos formas de cobertura de las flores en los cruces, para las posturas/g de semilla, y valores medios para cada cobertura. Diferencias para p≥0.05.

|  |  |
| --- | --- |
| **Diferencias** | **Combinaciones** |
| Sin diferencias | 26 |
| Superior en cabina | 29 |
| Superior en gorro | 13 |
| Media cabina | 30 |
| Media gorro | 17 |

En cuanto a la producción de posturas en las cabinas, el promedio fue casi el doble de las posturas/ gramo de semilla, que cuando se usaron los gorros. Esto pudo estar asociado al ambiente del cruce, el movimiento del polen, la luz u otro factor o la combinación de ellos. Las mismas permiten usar más cantidad de flores, por lo que son buenas para emplear los diseños de policruces y jerárquicos, que explotan una mayor variabilidad genética, importante para un programa de mejora (Cursi *et al*., 2021) y favorece el uso de la varianza aditiva de los cruces, importantes para caracteres como brix y pol (Mendes *et al*., 2020) y explotar la habilidad combinatoria general (GCA, por sus siglas en inglés), donde la varianza femenina es mayor y más significativa que la varianza masculina, según Marvellous (2020).

Localidades de cruzamientos

En el análisis de varianza, con las siete combinaciones de progenitores ejecutadas dentro de las tres localidades, a pesar que no se muestran, las dos fuentes de variación tuvieron diferencias muy altamente significativas (p < 0,001), en la Tabla 2, se muestra la interacción combinación x localidad de cruzamientos. La localidad de Mayarí (800 msnm) no logró, en ninguna de las combinaciones buenas producciones de posturas, que permitan su uso como área de cruzamientos, pues establemente no logró superar la producción de ´posturas alcanzadas en las otras dos localidades (Tabla 2).

Tabla 2. Producción de posturas/g de semillas germinadas de siete combinaciones de progenitores, en tres localidades de cruzamientos.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Combinación | Localidad de cruzamientos | | | Promedio |
| Mayarí | Buenos Aires | Guayos |
| C1616-75 x Mex66-1235 | 0d | 0d | 12c | 4 |
| C323-68 x C227-59 | 0d | 0d | 18c | 6 |
| C86-165 X Ja64-20 | 2cd | 10c | 6cd | 6 |
| Co421 X Ja64-20 | 0d | 18c | 14c | 11 |
| Ja64-19 X C227-59 | 0d | 22c | 20c | 14 |
| C90-501 X Ja64-11 | 10c | 82b | 80b | 57 |
| C90-501 X Ja64-19 | 6cd | 124a | 106a | 79 |
| Promedio | 3 | 37 | 37 | 25 |
| Desviación de la media | 1 | 38 | 18 | 30 |

Letras iguales no hay diferencias para p≥0.05

En Guayos y Buenos Aires, se lograron resultados similares de posturas/g de semillas como promedio, pero en Guayos los valores fueron más estables, motivado por el control de los factores ambientales. Por tanto, en ambas localidades se pueden hacer cruces, pero en Guayos, donde se encuentran las instalaciones para hacer cruces, se debe hacer el mayor número por su estabilidad. Se debe propiciar que en Buenos Aires se realicen mejoras en el área de cruces, con cabinas techadas y protegidas del viento, algo que no existió en el experimento.

Las buenas producciones de posturas en estas localidades se deben a que Buenos Aires tiene valores de temperatura y humedad buenos para la formación de semilla y en Guayos estas condiciones se controlan, en lo fundamental las temperaturas altas, con un sistema de riego automático, que trabaja con sensores de temperatura y humedad dentro de la Casa de cruzamientos.

En Buenos Aires, situada a 400m snm, según Caraballoso *et al.* (2022), se logra una alta sincronización de floración entre todos los grupos de progenitores, debido a su alta floración y presencia de fertilidad masculina, lo que hace que sea la única altitud donde se pueda desarrollar un programa completo de mejora, nunca mejor que la combinación de altitudes.

Según Farooq *et al*. (2019) en la sub estación de Murree, en Paquistán para que se logre una buena hibridación se necesita de temperaturas altas para esta localidad, que favorezcan una buena fertilidad del polen.

Técnica de manejo de los tallos con flores femeninas en los cruces

Tanto en Buenos Aires, como en Guayos, los análisis de varianza, a pesar que no se muestran todas las fuentes de variación tuvieron diferencias muy altamente significativas (p < 0,001), por ello solo se analiza la interacción combinación x técnica de manejo, cuyo resumen aparece en la Tabla 3.

Tabla 3. Resumen del número de combinaciones que fueron igual (sin diferencias) y diferentes para dos técnicas de manejo de los tallos con flores femeninas para las posturas/g de semilla y valores medios para cada técnica en dos localidades de cruces.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Combinaciones** | **Buenos Aires** | **Guayos** |
| Sin diferencias | 7 | 10 |
| Superior en margullo | 24 | 7 |
| Superior en SM | 13 | 9 |
| Media margullo | 30 | 24 |
| Media SM | 12 | 28 |

En la localidad de Buenos Aires, la técnica del margullo fue la de mejores resultados comparada con la de solución + margullo (SM). Debido a que no se trabaja con todas las condiciones para el manejo de la solución, como el uso del agua lluvia, los recipientes no se protegen de las inclemencias del tiempo, pues el área de cruces no está techada. A pesar de que 20 cruces fueron mejor o igual en el margullo, pero las diferencias entre la medias es de 18 posturas/g.

Por ello se sugiere, para esta localidad, hacer la mayor cantidad de cruces con el margullo, pero cuando la flor que se necesita no tiene margullo se puede trabajar con posibilidades que de posturas por la técnica de SM. Los cruces de mayor interés se pueden montar por ambas variantes, en caso de que no se conozca con cuál será mejor.

En Guayos, no existen muchas diferencias entre las dos técnicas estudiadas, por ello se recomienda hacer los cruces con la técnica de SM, pues no se aprecian muchas diferencias entre ellas y según Caraballoso *et al*. (2015), hasta el presente, en la literatura científica consultada no se hace referencia a este tipo de información del empleo de esta variante de mezcla del margullo y la solución nutritiva lo que hace este resultado muy novedoso, además aporta grandes perspectivas para su uso con fines de obtener nuevas y mejores variedades debidos a:

* Mayor uso de la variabilidad genética.
* Menos gastos de recursos materiales y humanos.
* Menos esfuerzos físico de los que trasladan las flores.
* Ahorro de espacio en la casa de los cruzamientos, al poder liberar los bolsos de aislamiento y ejecutar nuevas combinaciones de progenitores.
* Mayor calidad del cruce al poder seleccionar la mejor flor en el campo.

Los resultados obtenidos en Cuba, han influido sobre las pruebas de cruzamientos que se realizan en Costa Rica, en el primer año, los mejoradores de Liga Agrícola Industrial de la caña de azúcar (LAICA), consideran que está técnica ha demostrado ser efectiva, ya que las inflorescencias de los tallos en donde se colocan, producen mayor cantidad de semilla sexual y esta genera a la vez, mayor número de plántulas por gramo, según trabajo presentado por Carvajal y Duran (2018) en el VII Congreso Tecnológico del Departamento de investigaciones y extensión de la caña de azúcar de LAICA El trabajo se nombró Modificaciones y desafíos en el proceso de hibridación de la caña de azúcar en Costa Rica.

Conclusiones

El aislamiento de las flores de los cruces fue mejor dentro de cabinas, lo que beneficia incrementos de la producción de posturas, asociada con una mayor explotación de la variabilidad genética dentro del cruce.

Existe la posibilidad de hacer los cruzamientos en Guayos y en Buenos Aires, pero con más estabilidad en la producción de posturas en la primera. La localidad de Mayarí no está apta para obtener semilla viable.

Se logran mejores valores de producción de posturas si se combinan, para hacer los cruzamientos la localidad de Guayos, con la técnica de solución + margullo y Buenos Aires se asocia con el margullo.

Referencias bibliográficas

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 1 | . | Caraballoso, V., Concepción E. y Quintanilla, Marlene. (2015). Modificaciones en la técnica de solución para cruzamientos de caña de azúcar (*Saccharum* spp.) en Cuba. Centro Azúcar. Vol. 42, 23-29. |
| 2 | . | Caraballoso, V., Coca, O. y García H. (2022). Manejo de la floración de la caña de azúcar para mejoramiento genético. Revista Infociencia No 2, 60-70. |
| 3 | . | Caraballoso, V., Céspedes, A., Cruz, R. (2002) capítulo 5 Hibridación en: Jorge, H., González, R., Casas M. A. y Jorge, Ibis (Ed.). Normas y procedimientos del programa de mejora genética de la Caña de Azúcar en Cuba. Boletín No. 1 Revista Cuba & Caña, INICA. 315 pp. |
| 4 | . | Cursi, D. E., Hoffmann, H. P., Barbosa, G. V. S., Bressiani, J. A., Gazaffi, R., Chapola, R. G., *et al*. (2021). History and current status of sugarcane breeding, germplasm development and molecular genetics in Brazil. *Sugar Tech*. DOI: 10.1007/s12355-021-00951-1. |
| 5 | . | Dumont, T., Barau, L. Thong-Chane, A., Dijoux, J., Mellin, M., Daugrois, J., Hoarau, J. Y. (2022). Sugarcane Breeding in Reunion: Challenges, Achievements and Future Prospects. Sugar Tech., 24,1,181–192. |
| 6 | . | Farooq, M., Siddique, M., Kamal, N. y Ahmad, N. (2019). Sugarcane Flowering At Sugarcane Breeding Sub Station (SBSS), Haya Saudi J Life Sci, July; 4,6, 206-212. |
| 7 | . | García, H., Gálvez, G., Rodríguez, R., Puchades, Y., Caraballoso, V., Mesa J. M. y Rill S. (2022). Efectividad de los procedimientos para la mejora genética de la caña de azúcar en Cuba. En prensa |
| 8 | . | Mahadevaiah, C., Appunu, C., Aitken, K., Suresha, G. S., Vignesh, P., Mahadeva Swamy, H. K., Valarmathi, R., Hemaprabha, G., Alagarasan, G. y Ram, B. (2021). Genomic Selection in Sugarcane: Current Status and Future Prospects. *Front. Plant Sci.* Vol. 12 https//doi.org/10.3389/fpls.2021.708233.. |
| 9 | . | Marvellous, Zhou. (2020). General and specific combining ability effects for sugarcane yield among South African breeding populations. South African Journal of Plant and Soil. Vol. 37, 300-307. |
| 10 | . | Mendes de Paula, T. O., Brasileiro, B. P., Cursi, D. E., Freitas, E. G., dos Santos, J. M., Resende, M. D. V., Kimbeng, C., & Pereira Barbosa, M. H. (2020). Establishment of gene pools for systematic heterosis exploitation in sugarcane breeding. Agronomy Journal, 112, 5, 3847–3858. ISSN: 1435-0645. |
| 11 | . | Rodríguez-Gross, R., Puchades-Izaguirre, Yaquelín Aiche-Maceo, W. (2020). Methodology of validation and management of crosses in the genetic improvement in sugarcane. Cultivos Tropicales, vol. 41, 1, 13. ISSN: 0258-5936. |