

# FASES EXPERIMENTALES EN EL MEJORAMIENTO GENÉTICO DE LA CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum* spp.) EN MÉXICO

## EXPERIMENTAL PHASES IN THE GENETIC IMPROVEMENT OF SUGARCANE (*Saccharum* spp.) IN MEXICO

Senties-Herrera, H.E.<sup>1,2</sup>; Valdez-Balero, A.<sup>3</sup>; Loyo-Joachin, R.<sup>2</sup>; Gómez-Merino, F.C.<sup>4\*</sup>

<sup>1</sup>Colegio de Postgraduados Campus Montecillo. Carretera México-Texcoco km 36.5 Montecillo, Texcoco, Estado de México, México. C. P. 56230. <sup>2</sup>Centro de Investigación, Innovación y Transferencia Agrícola Tangamanga, A. C. Carretera Cosamaloapan-Tuxtepec km 99. Rancho San Rafael, Tangamanga, Cosamaloapan de Carpio, Veracruz, México. C. P. 95420. <sup>3</sup>Colegio de Postgraduados Campus Tabasco. Periférico Carlos A. Molina km 3.5 H. Cárdenas, Tabasco, México. C. P. 86500. <sup>4</sup>Colegio de Postgraduados Campus Córdoba. Carretera Córdoba-Veracruz km 348. Congregación Manuel León, Amatlán de los Reyes, Veracruz, México. C. P. 94946.

\*Autor de correspondencia: fernandg@colpos.mx

### RESUMEN

El programa de mejoramiento de la caña de azúcar (*Saccharum* spp.) consiste en la evaluación y selección de variedades, y comprende una serie de fases o etapas donde se evalúan características agronómicas, industriales, botánicas y de adaptación, de acuerdo con la fase y edad del cultivo en que se aprecian mejor, y sea más factible su estudio. Las características botánicas se utilizan fundamentalmente para fines de identificación varietal, mientras que las agronómicas, industriales y de adaptación para seleccionar variedades en función de su productividad. Se describen las fases de evaluación, que para la generación de una nueva variedad de caña de azúcar, puede tomar 14 años o más, además, se analizan los avances del programa mexicano de mejoramiento de caña de azúcar y se establecen algunas recomendaciones generales para el logro de mejores resultados.

**Palabras clave:** Poaceae, Saccharinae, Hibridación, Fuzz, selección.

### ABSTRACT

The sugarcane (*Saccharum* spp.) breeding program consists in the evaluation and selection of varieties, and covers a series of phases or stages where agronomic, industrial, botanical and adaptation characteristics are evaluated, according to the phase and age of the crop where they are best observed, and where their study is most feasible. The botanical characteristics are used fundamentally for purposes of variety identification, while the agronomic, industrial and adaptation ones for the selection of varieties in function of their productivity. The evaluation phases are described, which for the generation of a new variety of sugarcane can take 14 years or more; in addition, advances in the Mexican sugarcane breeding program are analyzed and some general recommendations to achieve better results are established.

**Keywords:** Poaceae, Saccharinae, hybridization, Fuzz, selection.

**Agroproductividad:** Vol. 10, Núm. 11, noviembre. 2017. pp: 93-98.

**Recibido:** mayo, 2017. **Aceptado:** octubre, 2017.

## INTRODUCCIÓN

**En México,** el programa de mejoramiento genético inicia en la Estación de Hibridación, dentro del Centro de Investigación y Desarrollo de la Caña de Azúcar (CIDCA), ubicado en Tuxtla Chico, Chiapas, México (14° 57' N y 90° 10' O), a una altitud de 366 m. La ubicación geográfica de este sitio reúne las condiciones ambientales necesarias para llevar a cabo este proceso. La hibridación se realiza anualmente durante los meses de octubre a diciembre (periodo durante el cual las variedades florecen en forma natural) dando lugar a los cruzamientos que son de dos tipos: los biparentales (apareamiento de dos individuos de sexo diferente (Figura 1 A) y policruzamientos (apareamiento de tres o más individuos de diferente sexo (Figura 1 B). Ambos cruzamientos se realizan en farol para evitar la contaminación de polen extraño. A los dieciocho días después del cruzamiento, se cosecha la semilla botánica o Fuzz, procedimiento que consiste en cortar las espigas hembra en los cruzamientos biparentales y espigas hembras y macho en los policruzamientos (CIDCA, 2015). Posteriormente se realiza el secado, desgrane, despeluzado, sopleteado y envasado del Fuzz. Finalmente el Fuzz se conserva en refrigeración a 4 °C hasta el momento de ser utilizadas (Flores-Revilla, 2012).

## FASES DE SELECCIÓN

La Estación de Hibridación año con año produce Fuzz suficiente para iniciar el proceso de selección a nivel nacional con una población de hasta 360 mil híbridos, la cual es distribuida entre los Campos Experimentales Regionales (CER) y el mismo CIDCA durante el mes de julio del año posterior a la realización de la cruce para dar continuidad con el programa de selección regional, con una población de hasta 30 mil híbridos (Flores-Revilla, 2012). Posteriormente a la germinación del Fuzz, se realiza la inoculación y evaluación de la resistencia a la enfermedad del virus del mosaico de la caña de azúcar (VMCA), dando inicio al proceso de selección. El CIDCA inicia el proceso de selección de variedades, únicamente en las Fases de Plántula y Surco, remitiendo un par de estacas de las variedades sobresalientes (entre 50 y 70) a cada uno de los CER, que dan continuidad con el pro-

ceso de selección, estableciendo la Fase Cepa (CIDCA, 2015). El proceso de selección está constituido por las fases de Plántula, Surco, Cepa, Parcela, Multiplicación I, Prueba de adaptabilidad, Multiplicación II, Evaluación Agroindustrial, Multiplicación III, Prueba Semicomercial y Semillero. Este proceso permite liberar de una a diez variedades cada 14 a 16 años (Cuadro 1) (IMPA, 1983; Flores-Cáceres, 2001). La nomenclatura de las variedades mexicanas se designa con las siglas Mex, seguidas del año de la generación, y la numeración restante se determina con base a los rangos asignados a cada CER (Flores-Revilla, 2012).

### Fase Plántula

Esta fase se establece en el mes de noviembre de cada año. La siembra se realiza con una separación entre surcos de 1.4 m y de 1 m entre cada híbrido, intercalando una variedad testigo antes de después de cada cruce, con la finalidad de facilitar la selección. La distribución es en forma de culebrilla. Se levanta el registro y un croquis para poder identificar el material cuando desarrollen las plantas. La fertilización se realiza con la mitad de la fórmula que se utiliza en la región, tomando en consideración los análisis de suelo y de tejido vegetal que se hayan hecho. Las labores de cultivo se hacen según requerimientos de la planta y del manejo del cultivo. Tres meses después, a principios de marzo, se roza el pelillo (rebrotos provenientes de las yemas o "semilla agronómica") para que desarrolle la soca y en noviembre se efectúa la selección. Se recomienda una presión de selección máxima de 20 %, definiendo los grados Brix como el indicador prioritario. Las características agroindustriales son:



**Figura 1.** A: Cruzamientos biparentales en farol. B: Policruzamientos en farol.

sanidad (calificaciones trimestrales; enfermedades como mosaico [*VMCA*], carbón [*Ustilago scitaminea*], roya común [*Puccinia melanocephala melanocephala*] y roya naranja [*Puccinia kuehnii*]) son discriminatorias, grados Brix, médula, oquedad, diámetro, altura y población de tallos.

### Fase Surco

Esta fase se establece en los meses de noviembre a diciembre, con los clones de la Fase Plántula y variedades de la Fase Cepa. La siembra se realiza a cordón doble. La distancia entre surco es de 1.4 m, y se siembra un surco de 3 m a una distancia de 1.4 m entre cada clon, y se distribuyen en fajas en el terreno en forma de culebrilla, intercalando un testigo cada 25 clones. Se levanta el registro y un croquis para poder identificar el material cuando desarrollen las plantas. Las labores de cultivo son fertilización, limpia, control de malezas, etcétera, y de acuerdo a los requerimientos de la planta, y considerando las condiciones de manejo propias de la región. La parcela se conserva en ciclo de plantilla y

soca, por lo tanto, son dos ciclos de evaluación, donde las características a evaluar son las mismas que en la Fase Plántula. Estos materiales son compartidos entre los diferentes CER y el CIDCA, remitiendo cuatro estacas de 3 yemas cada una, para continuar la selección en Fase Cepa.

### Fase Cepa

Esta fase se establece de noviembre a diciembre, con los híbridos sobresalientes de la Fase Plántula y variedades de la Fase Surco. También se incorporan variedades extranjeras enviadas de la estación de cuarentena. Se siembran dos pares de estacas de tres yemas cada estaca con una distancia de separación de 1.8 m de centro a centro de par de estacas. Se intercalan las variedades testigo de la misma forma que en la Fase Plántula. La distribución es en forma de culebrilla, y se debe levantar el registro y croquis correspondiente al momento de la siembra. La fertilización y labores de cultivo son de acuerdo a las fases anteriores. Los criterios de evaluación son los mismos que en la Fase Plántula.

**Cuadro 1.** Síntesis del proceso de selección de variedades de *Saccharum* spp., en México (Adaptado para las condiciones del campus Córdoba, con base en las metodologías desarrolladas por el IMPA [1983] y Flores-Cáceres [2001]).

Fase	Periodo de evaluación		Presión de selección	Población teórica	Nomenclatura	Parcela experimental	Superficie total (ha)	Localización	Actividad
	Ciclo	Meses							
Plántula	Soca	18	20 %	30,000	Híbrido	1 Cepa c/1 m	4.5	Campo Experimental	Investigación Aplicada
Surco	Soca	24	20 %	6,000	Clón	1 Surco de 3 m	4.5	Campo Experimental	Investigación Aplicada
Cepa	Soca	24	20 %	6,000	Variedad	1 Cepa c/1.8 m	4.5	Campo Experimental	Investigación Aplicada
Parcela	Soca	24	20 %	1,200	Variedad	3 Surcos de 5 m	5.0	Campo Experimental	Investigación Aplicada
Multiplicación I	Plantilla	10 a 12	---	240	Variedad	4 Surcos de 5 m	1.2	Campo Experimental	Investigación Aplicada
Prueba de Adaptabilidad	Soca	24	20 %	240	Variedad	3 Surcos de 10 m	2.0	Campo Experimental	Investigación Aplicada
Multiplicación II	Plantilla	10 a 12	---	48	Variedad	5 Surcos de 25 m	1.2	Campo Experimental	Investigación Aplicada
Evaluación Agroindustrial	Resoca	38 a 42	20 %	48	Variedad	6 Surcos de 12 m	1.0	Campo Experimental	Investigación Aplicada
Multiplicación III	Plantilla	10 a 12	---	1 a 10	Variedad Prometedora	15 Surcos de 50 m	1.2 a 12	Campo Experimental o Comercial	Investigación Aplicada
Prueba Semicomercial	Plantilla	10 a 12	---	1 a 10	Variedad Prospecto Comercial	1 ha	1 a 10	Campo Comercial	Desarrollo Experimental
Semillero	Plantilla	10 a 12	---	1 a 10	Variedad Liberada	10 ha	10 a 100	Campo Comercial	Desarrollo



### Fase Parcela

Se establece en los meses de noviembre a diciembre, con las variedades seleccionadas en la Fase Surco. Para la siembra se trazan fajas con parcelas de 3 surcos de 5 m separadas por calles transversales de 2 m y 1.4 m entre surcos. La siembra se hace a cordón cruzado y por cada cinco parcelas se intercala una de la variedad testigo. Se levanta el registro y el croquis de siembra. La fertilización y labores de cultivo son de acuerdo a la región. La evaluación de los materiales se efectúa en ciclo plantilla y soca, mediante calificaciones fitosanitarias trimestrales y la calificación agronómica a la edad de 12 meses. En ambos ciclos, se aplica una presión de selección máxima del 20 % en base a las consideraciones indicadas en la Fase Plántula para las calificaciones y criterio de selección estipulado. Así también se integran las características agronómicas siguientes: uniformidad de desarrollo, tenacidad, jugosidad, floración y la modificación de la calificación a las enfermedades de carbón y roya.

### Multiplicación I

Se establece con la caña-semilla de ciclo plantilla de la selección de la Fase Parcela; se siembran cuatro surcos de 25 m de cada variedad, estableciendo así el lote de multiplicación.

### Fase Prueba de Adaptabilidad

Se establece de noviembre a diciembre y consiste en determinar el grado de adaptación regional de las variedades, así como conocer su madurez industrial en las diferentes zonas agroecológicas en el área influencia de cada CER. Para su establecimiento, se divide el terreno en parcelas de tres surcos de 10 m de largo; la separación entre surcos debe ser con calles transversales de 2 m. Se utiliza la caña-semilla proveniente del lote de Multiplicación I. La distribución de los testigos se realiza de la misma forma que en la Fase Parcela. Anexo al lote anterior, se siembra un surco de 10 m de largo de cada variedad incluyendo a los testigos, para efectuar determinaciones destructivas con la finalidad de calcular las curvas de madurez de cada una de las variedades con referencia a los testigos. El método de análisis debe ser de acuerdo al utilizado por los ingenios del área de influencia, lo mismo que las labores de fertilización y manejo agronómico del cultivo. La evaluación de las variedades se realiza durante los ciclos de plantilla y soca, efectuando calificaciones fitosanitarias trimestrales y la selección de los 12 meses de edad. En esta fase el criterio de selección se basa en las características agronómi-

cas en el tipo de madurez y en el rango de adaptación de las variedades. Lo anterior, con el objetivo de seleccionar variedades de comportamiento agroindustrial balanceado, de buen contenido de sacarosa en el primer tercio de la zafra de preferencia y de amplio espectro de adaptación o bien de adaptación específica que signifique la solución a un problema determinado. Para la identificación varietal en esta fase, se consideran las características: diámetro del tallo, tipo de yema, cantidad de ahuates, población de tallos molederos y mamonos, hábito de crecimiento, altura de tallo, uniformidad de desarrollo, despaje, tenacidad, resistencia al acame, floración, médula, oquedad, sanidad interna y externa, madurez, jugosidad y contenido de sacarosa, pureza y fibra. Así también la caracterización de la adaptación de las variedades a las condiciones de altitud, régimen pluviométrico, suelos, drenaje, sequía, vientos y heladas. En esta fase también se da un intercambio de material de variedades seleccionadas en cada CER para su incorporación en la fase.

### Multiplicación II

Con el material preseleccionado en ciclo plantilla de la Fase Prueba de Adaptabilidad, se establece de inmediato (en la época apropiada) el lote de multiplicación II, sembrando nueve surcos de 20 m de cada variedad. Tiene la finalidad de proveer de caña-semilla de ciclo plantilla de las variedades seleccionadas en dicha fase para establecer los trabajos de la Fase Evaluación Agroindustrial.

### Evaluación Agroindustrial

Esta fase tiene como finalidad evaluar con mayor precisión el comportamiento agroindustrial de las variedades en las zonas agroecológicas donde fueron seleccionadas, y de esta manera, obtener información más consistente de la respuesta varietal a condiciones más específicas del medio ambiente. Para esta evaluación se debe realizar un experimento utilizando diferentes diseños experimentales (bloques al azar, cuadro latino, etcétera), con la finalidad de calificar diferentes características agronómicas, industriales y de adaptabilidad durante tres ciclos de evaluación, correspondiendo a los ciclos productivos de plantilla, soca y resoca. En este experimento se debe incluir como testigo a las variedades sobresalientes de la región, las variedades seleccionadas en la Fase Prueba de Adaptabilidad y las Prometedoras enviadas por los diferentes CER. La agrupación de las variedades debe considerar su madurez y riqueza en sacarosa, por consiguiente, los valores más altos del Rendimiento Teórico de Azúcar de

todas las variedades integradas en un experimento, deben coincidir con la época de cosecha más adecuada o establecida en la zona agroecológica donde se vaya a ubicar dicho experimento. La siembra se realiza con la caña-semilla proveniente del lote de Multiplicación II. El tamaño de la parcela experimental debe ser de seis surcos de 12 m de largo y la parcela útil es de cuatro surcos por 10 m de largo. La distancia del surco debe ser la utilizada en la región. Las parcelas deben estar separadas por surcos muertos y calles transversales de 2 m de ancho. Las repeticiones deben estar en función del tipo de diseño experimental; se recomienda un mínimo de tres repeticiones. Se levanta el registro y el croquis de siembra. En el Cuadro 2, se describen las principales características agroindustriales y de adaptación para esta fase de evaluación.

**Cuadro 2.** Principales características agronómicas, industriales y de adaptación para la Fase de Evaluación Agroindustrial nuevas variantes biológicas de *Saccharum* spp.

Características agronómicas	Características industriales	Características de adaptación
Germinación	Grados Brix laboratorio	Altitud
Cierre de campo	Grados Brix refractómetro	Precipitación y sequía
Hábito de crecimiento	Sacarosa, pureza y fibra	Vientos
Resistencia al acame	Tipo de madurez	Heladas
Despaje	Rendimiento de azúcar teórico por hectárea	Tipos de suelos y drenajes
Tenacidad	Jugosidad	
Altura de tallo molidero	Dureza de corteza	
Cantidad de ahuates		
Uniformidad de desarrollo		
Población		
Floración		
Médula		
Oquedad		
Sanidad		

### Multiplicación III

Con los resultados de los dos primeros ciclos de selección, se establecen los lotes de Multiplicación III, para disponer de caña-semilla para la fase siguiente.

### Prueba Semicomercial

El objetivo de esta fase es la observación en un área más extensa y la multiplicación de las variedades prometedoras propuestas para su introducción al cultivo comercial, en base a los resultados obtenidos en la Fase Evaluación Agroindustrial. Los trabajos de esta fase deben ser de acuerdo a las recomendaciones específicas para cada variedad dadas sus características de adaptación. De cada variedad se siembra máximo una hectárea en la época más adecuada, considerando que este material será utilizado como caña-semilla. La siembra se realiza a cordón doble. La fertilización y labores de cultivo de-

ben ser de acuerdo a la región. La evaluación se hace a través de calificaciones sanitarias trimestrales y una calificación botánica de acuerdo a lo descrito por Gómez-Merino y Senties-Herrera (2015) y agronómica como en la fase anterior a los nueve meses de edad.

### Fase Semillero

Esta fase considerada como semillero básico, corresponde a la última etapa del proceso de selección de variedades y tiene el objetivo de multiplicar las variedades prometedoras y aportar semilla de calidad para su introducción al cultivo comercial.

### Aportes del programa de mejoramiento genético de caña de azúcar en México

El programa mexicano de mejoramiento genético en caña de azúcar ha permitido desarrollar cerca de 66 % de las variedades que actualmente se cultivan en territorio nacional (Senties-Herrera *et al.*, 2017), y junto con las variedades extranjeras, se han convertido en pilar fundamental de variabilidad genética para el diseño, implementación y evaluación de estrategias de producción de azúcar y otros productos, coproductos, subproductos y derivados, pues constituyen la materia prima de las transformaciones agroindustriales. Es importante notar que los aportes de este programa han sido desta-

cados, pues en las dos décadas anteriores el porcentaje de variedades nacionales en el campo cañero se había estimado en 55 % (Flores-Revilla, 2012; Senties-Herrera *et al.*, 2016). Las nuevas directrices para el mejoramiento genético y continuidad del fortalecimiento de esta agroindustria, con fines de diversificación productiva, incluyen la ampliación de la base genética mediante la hibridación, selección e intercambio de variedades, aplicación del cultivo *in vitro*, generación de modelos estadísticos multivariados que permitan evaluar la interacción genotipo por ambiente, y desarrollos biotecnológicos tendientes a aplicar avances recientes sobre el genoma de este cultivo (Senties-Herrera y Gómez-Merino, 2014). Para una mejor producción en campo, Gómez-Merino *et al.* (2014) proponen una serie de necesidades de innovación, que incluyen la generación de variedades con mayor capacidad para producir biomasa y sacarosa,

además de resistencia a factores bióticos (plagas) y abióticos (sequía, inundaciones, heladas, acidez, salinidad, entre otros), uso eficiente del agua, mayor infraestructura para riego, uso eficiente de fertilizantes, generación y aplicación de biofertilizantes y abonos, desarrollo de variedades biotecnológicas, generación de sistemas de producción orgánicos, diversificación de la producción, cosecha en verde y mecanización, entre otros. Al menos parcialmente, a través de la implementación de estas innovaciones será posible estimular mayor progreso social de quienes se benefician de esta cadena de valor. En todo caso, con fines de diversificación productiva, los criterios de evaluación tendrán que ser adecuados al perfil de producto, coproducto, subproducto o derivado que se quiera obtener.

## CONCLUSIONES

Los aportes del programa mexicano de mejoramiento genético en caña de azúcar en las últimas dos décadas, han pasado de 55% a 66 % del material biológico cultivado en México. Dados los desafíos que actualmente enfrenta la agricultura en México en términos de agotamiento y contaminación del agua, alza generalizada de precios de los insumos agrícolas, embates ambientales impuestos por el cambio climático global y baja en la productividad y rentabilidad del sector, entre otros, resulta prioritario para México canalizar esfuerzos significativos para que la caña de azúcar continúe siendo un soporte para el desarrollo del campo y

de la industria diversificada. Estos esfuerzos deben ser en términos de investigación básica, desarrollos tecnológicos e innovación.

## LITERATURA CITADA

- CIDCA. 2015. Centro de Investigación y Desarrollo de la Caña de Azúcar (CIDCA). <http://www.camaraazucarera.org.mx/Cidca.aspx>
- Flores-Cáceres C.S. 2001. Las variedades de caña de azúcar en México. Editorial ATAM, México. 308 p.
- Flores-Revilla C. 2012. Proyectos: Avances y Resultados 2012. [http://www.caneros.org.mx/site\\_caneros/descargas/pleno\\_gdl/04\\_PONENCIA\\_ESTACIONES\\_HIBRIDACION.pdf](http://www.caneros.org.mx/site_caneros/descargas/pleno_gdl/04_PONENCIA_ESTACIONES_HIBRIDACION.pdf)
- Gómez-Merino F.C., Trejo-Téllez L.I., Morales-Ramos V., Salazar-Ortiz J., Velasco-Velasco J., Senties-Herrera H.E., Ladewig P. 2014. Necesidades de innovación en la producción de caña de azúcar (*Saccharum* spp.). *Agroproductividad* 7: 22- 26.
- Gómez-Merino F.C., Senties-Herrera H.E. 2015. Manual para la identificación varietal de caña de azúcar. Colegio de Postgraduados. México. 40 p.
- IMPA. 1983. Programa de variedades. Objetivos, Importancia y Metodología Experimental. Centro Nacional de Investigaciones Azucareras, México, D. F. 63 p.
- Senties-Herrera H.E., Gómez-Merino F.C. 2014. Nuevas directrices en mejoramiento genético de caña de azúcar (*Saccharum* spp.). *Agroproductividad* 7: 9-15.
- Senties-Herrera H.E., Gómez-Merino F.C., Loyo Joachin R. 2016. El mejoramiento genético de la caña de azúcar (*Saccharum* spp.) en México: Una historia de éxito con nuevos desafíos. *Agroproductividad* 9: 8-13.
- Senties-Herrera H.E., Trejo-Téllez L.I., Gómez-Merino F.C. 2017. The Mexican Sugarcane Production System: History, Current Status, and New Trends. *In: Sugarcane: Production Systems, Uses and Economic Importance*. R. Murphy (Ed.). Nova Publishers. New York, USA. pp. 39-71.

