

# NECESIDADES DE INNOVACIÓN EN LA PRODUCCIÓN DE CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum* spp.)

Gómez-Merino, F.C.<sup>1</sup>; Trejo-Téllez, L.I.<sup>2</sup>; Morales-Ramos, V.<sup>1</sup>; Salazar-Ortiz, J.<sup>1</sup>; Velasco-Velasco, J.<sup>1</sup>; Senties-Herrera, H.E.<sup>1</sup>; Ladewig, P.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Colegio de Postgraduados *Campus* Córdoba, Carretera Córdoba-Veracruz km 348, Congregación Manuel León, Amatlán de los Reyes, Veracruz, México. C.P. 94946. <sup>2</sup>Colegio de Postgraduados *Campus* Montecillo, Carretera México-Texcoco km 36.5, Montecillo, Texcoco, Estado de México, México. C.P. 56230. <sup>3</sup>Beuth Hochschule für Technik Berlin. Faculty of Science and Technology-Horticulture. Luxemburger Str. 10. D-13353 Berlin, Germany.

\*Autor responsable: fernandg@colpos.mx

## RESUMEN

La caña de azúcar es un cultivo que se desarrolla en 15 entidades federativas y 227 municipios en México y que genera una derrama económica para cerca de un millón de personas de manera directa y más de 2.2 millones de manera indirecta. A pesar de que ha habido algunos avances importantes en esta cadena de valor, es necesario implementar diversas innovaciones técnicas, organizativas, comerciales y gerenciales a fin de convertir a ésta en una actividad rentable y competitiva. En el presente se citan elementos que requieren de innovación, sobre todo en el componente técnico de la producción en campo, además de los relacionados con el comercio y la organización.

**Palabras clave:** Ciencia, tecnología, empoderamiento, competitividad

## INTRODUCCIÓN

Tanto a nivel global como nacional, la agricultura está experimentando amplias transformaciones, fruto de los procesos de cambio tecnológico en respuesta a nuevos retos como el cambio climático, la creciente demanda de alimentos, energía, nuevas exigencias de los consumi-



dores, cambios políticos y la globalización en general. Para soportar estas transformaciones, el sistema productivo ha tenido que apoyarse en la innovación, entendida ésta como todo cambio basado en el conocimiento que genera valor y que está provocando una nueva revolución agrícola. Para alcanzar y mantener el desarrollo económico y enfrentar los principales desafíos que tiene la agricultura, se depende cada vez más de la capacidad institucional, empresarial y técnica de los países para desencadenar y fortalecer los procesos de innovación. Esta última se desarrolla en mejores términos y expresa todo su potencial transformador cuando existen sistemas nacionales de innovación agroalimentarios fuertes y consolidados. Sin embargo, en México este sistema tiene un grado muy diverso de desarrollo, con una tendencia general a la ineficiencia en la mayoría de los sistemas producto y las cadenas de valor de importancia agroalimentaria, incluyendo la caña de azúcar (CONADESUCA, 2013).

El sistema de producción de la caña de azúcar en México genera más de 2 millones de empleos, tanto en forma directa como indirecta, y se desarrolla en 15 entidades federativas y 227 municipios (Enriquez-Poy, 2013). La zafra 2012-2013 se realizó en 55 ingenios, en una superficie de 780,534 mil ha<sup>-1</sup>, alcanzando una molienda de 61, 438,539 toneladas de caña, una producción de casi siete millones de toneladas de azúcar (Enriquez-Poy, 2013), equivalente a un valor cercano a los 34 mil millones de pesos, aportando 11.6% del PIB del sector primario y 2.5% del PIB manufacturero (CONADESUCA, 2013). En el sistema de producción primaria de esta cadena de valor existen problemas cruciales relacionados con rezagos en los procesos productivos, tales como tecnología obsoleta y una complicada organización de productores que obstruyen los procesos de producción y limitan crecimiento y desarrollo, lo cual hace necesario implementar estrategias de innovación que permitan elevar la productividad y rentabilidad de esta actividad. Si bien la competitividad de la actividad cañera es el resultado de la interacción de diferentes factores, incluyendo pérdida de sacarosa, días de zafra, tiempo perdido, consumo de combustibles, fibra en caña, capacidad instalada para molienda de caña por día, grado de utilización de la capacidad instalada, sacarosa en caña, eficiencia de combustibles, equipos, operaciones unitarias y costos de la materia prima, entre otros (Aguilar-Rivera *et al.*, 2010), en este artículo se describirán únicamente algunas necesidades de innovación en lo que respecta a la producción de campo, dado que los aspectos relacionados con fábrica ya han sido abordados por autores como Aguilar-Rivera *et al.* (2013).

### Desafíos para la producción de caña de azúcar

La producción primaria de caña de azúcar enfrenta serios retos por efecto del cambio climático; México es el segundo país más vulnerable a este fenómeno a escala global, sólo después de la India y, bajo esta perspectiva, la producción agrícola nacional podría caer en más de 25% hacia el año 2080 (Moyer, 2010) si el país no desarrolla estrategias adecuadas y visionarias para enfrentarlo. Aunado a lo anterior, se proyecta que la población de México rebase los 150 millones de habitantes para el año 2050 (CONAPO, 2012), lo que generaría mayores presiones sobre los recursos naturales, muchos de los cuales enfrentan escasez y deterioro. En la en la Figura 1 se muestra un resumen de los grandes desafíos ambientales del país para mantener y mejorar la producción de caña de azúcar.

### Necesidades de innovación en la producción de caña de azúcar

#### Adaptación al cambio climático

Los enfoques innovadores que se desarrollen para la producción sustentable de caña de azúcar, deben considerar mecanismos de adaptación al cambio climático de las variedades existentes y de las que se generen en el futuro. Problemas de escasez de agua, altas temperaturas, heladas e inundaciones deben ser considerados en los programas de mejoramiento genético y de manejo agronómico del cultivo.

#### Uso eficiente del agua

Como consecuencia del cambio climático, la distribución de las precipitaciones pluviales está siendo más errática y los cultivos de caña de azúcar tendrán que producir bajo estas condiciones. La selección o generación de variedades capaces de hacer un uso eficiente del agua es ya una necesidad imperante, donde las raíces juegan un papel importante, aunque existe desconocimiento de los tipos de sistemas radiculares en los nuevos híbridos y las condiciones productivas en función del tipo de suelo y la disponibilidad de agua, aumentando con ello nuevos esquemas de selección y producción, aunado al desarrollo e implementación de estrategias alternas como el fertirriego, la protección de las fuentes de agua, la captación y el aprovechamiento del agua de lluvia, y la reutilización del agua. A nivel fisiológico y molecular, las acuaporinas juegan un papel importante no sólo en el uso eficiente del agua, sino también en la acumulación de sacarosa, por lo que su estudio a nivel de cada variedad podría apoyar las estrategias de uso eficiente del vital líquido.

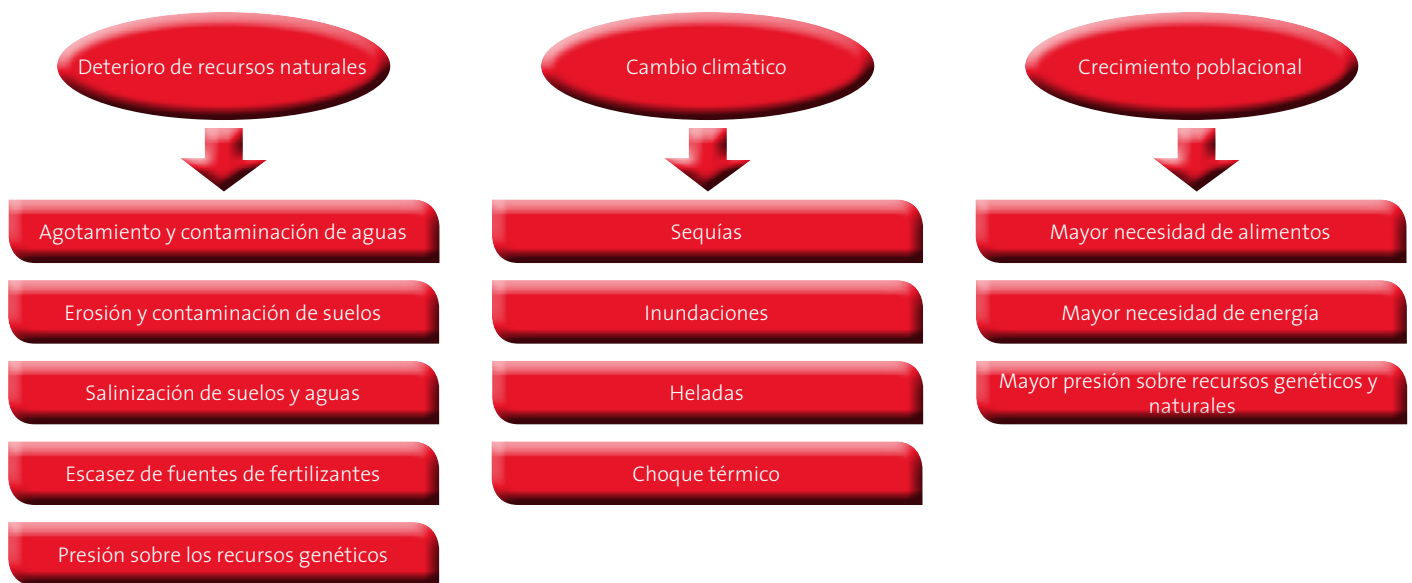


Figura 1. Grandes desafíos ambientales que enfrenta México para asegurar la producción sustentable de caña de azúcar (*Saccharum spp.*).

### Riego

Los estudios sobre cuencas hidrológicas, desarrollo de sistemas eficientes de riego, crecimiento de la infraestructura para riego y otros aspectos relacionados con captación, distribución y uso eficiente y limpio del agua, son urgentes para esta cadena de valor.

### Resistencia a factores de estrés abiótico

También existe necesidad de seleccionar genotipos resistentes a factores como sequía, salinidad, heladas y anoxia. Protocolos establecidos en laboratorio para explorar mecanismos de resistencia pueden apoyar este tipo de acciones, junto con la aplicación de transformación genética con enfoque de biología de sistemas, para analizar rutas de regulación de las respuestas de esta planta al estrés.

### Resistencia a factores de estrés abiótico

La búsqueda de resistencia a plagas y enfermedades es un paso necesario en los procesos de mejoramiento genético de caña de azúcar desde un inicio. Sin embargo, los métodos actuales toman demasiado tiempo y resultan costosos, por lo que los diagnósticos moleculares pudieran brindar mayor rapidez y eficiencia en la detección de su presencia o la resistencia de los nuevos materiales generados. La búsqueda de estrategias de control biológico y de principios activos útiles en el control de insectos plaga y microorganismos patógenos, es otra necesidad en el cultivo de la caña de azúcar.

### Uso eficiente de fertilizantes, biofertilización y abonos

El cultivo de la caña de azúcar es uno de los más demandantes en fertilizantes. El uso eficiente de éstos es uno de los mayores requerimientos en este cultivo, dada la enorme pérdida económica que significa su lixiviación, además de los daños ambientales que provoca. Los estudios de suelo y los requerimientos de cada variedad serán determinantes para estimar las necesidades de fertilizantes de manera más eficiente. Además, es urgente el desarrollo de innovaciones para la aplicación de biofertilizantes y abonos generados a partir del mismo sistema de producción.

### Cosecha en verde

De las 780,534 ha sembradas con caña de azúcar en México, sólo 188,000 se cosechan en verde, lo que implica que más de 75% de la superficie es quemada previo a la cosecha, con las implicaciones ambientales que esto conlleva. Dado que la cosecha en verde requiere de mecanización (Ortiz-Laurel *et al.*, 2012), además del diseño de aparatos y equipos especializados y adecuados para las condiciones en que se encuentran las siembras, es necesario replantear la reubicación de las zonas cañeras, dada la potencialidad de cerca de cinco millones de hectáreas para el cultivo de caña de azúcar (SAGARPA, 2009).

### Mecanización

Los retos para la mecanización del campo cañero están determinados por los siguientes hechos: suelos pedregosos y fuertes pendientes en 48% de la superficie; superficies

inundables y con problemas de heladas y salinidad en 30%; superficies menores a 4 ha en 70%; y la superficie susceptible de mecanización de sólo 22%. El reto en este apartado es el diseño de maquinaria apropiada y la reubicación de los terrenos cañeros, entre otros.

### Digitalización y agricultura de precisión

Estrategias como la digitalización del campo cañero para alcanzar la agricultura de precisión que ha emprendido la SAGARPA en el marco del Programa Nacional de la Agroindustria de la Caña de Azúcar (PRONAC) 2007/2012, han aportado importantes herramientas tecnológicas, aunque aún se requiere un trabajo conjunto entre los diferentes actores (gobierno, industriales, productores de caña, académicos y técnicos), a fin de abordar integralmente la problemática multifacética que enfrenta esta cadena de valor. Hasta ahora, sólo 40% del campo cañero ha sido digitalizado, por lo que es muy importante completar este proceso, preparar cuadros bien capacitados y aplicar las herramientas para operar sus bondades.

### Gestión ambiental

Control de emisiones, utilización de biomasa para combustión en calderas, tratamiento de aguas residuales, remoción de contaminantes de aguas de riego y suelos agrícolas, uso de cachaza y bagazo en procesos de biorremediación, producción de carbono activo a partir de la biomasa y manufactura de nuevos productos a partir de desechos, son algunas de las estrategias de gestión ambiental que se deben considerar en los procesos de innovación que emprenda esta cadena de valor (Vilaboa-Arroniz y Barroso, 2013).

**Caña de azúcar como cultivo orgánico**  
La producción de caña de azúcar

con métodos orgánicos que eviten el uso de agroquímicos y hagan uso de buenas prácticas agrícolas constituye una alternativa para explorar nuevos nichos de mercado, revertir el deterioro ambiental y reducir costos de producción. En algunas regiones azucareras del país, aunado a la búsqueda de resistencia varietal a plagas y enfermedades, se hace uso de métodos biológicos de control de plagas, lo que requiere mayor investigación e intensificación hacia toda la superficie cañera.

### Aumento de rendimientos

La caña de azúcar es una planta C<sub>4</sub> con potencial para producir hasta 805 t ha<sup>-1</sup> (Yadav *et al.*, 2010) de biomasa fresca, por lo que los rendimientos promedio mundiales de alrededor de 80 t ha<sup>-1</sup> pueden multiplicarse por 10. En este aspecto, los programas de mejoramiento genético deben apoyarse con las nuevas herramientas de la biotecnología para elevar rendimientos tanto de caña como de azúcar.

### Aplicaciones biotecnológicas y ciencias genómicas

Uno de los grandes desafíos que enfrenta el cultivo de la caña de azúcar para desarrollar estrategias de mejoramiento eficientes es la complejidad del genoma (totalidad de genes de la especie), aunado a problemas de baja eficiencia de transformación genética, inactivación de transgenes, variación somaclonal y dificultades de los retrocruzamientos. Además, no se dispone de modelos estadísticos que expliquen el comportamiento de especies poliploides, como la caña de azúcar. Pese a ello, las ciencias genómicas y el mejoramiento asistido por marcadores moleculares pueden tener gran impacto en el desarrollo de las cañas del futuro, por lo que se debe poner especial atención en estas estrategias.

### Generación de variedades para diferentes usos

La diversificación es una parte importante de la competitividad de esta cadena de valor. De acuerdo con Aguilar-Rivera (2012), existen más de 200 productos, coproductos, subproductos y derivados que se pueden obtener de la caña de azúcar, necesarios para las industrias agrícola, ganadera, alimenticia, farmacéutica, química, energética, del transporte, de la construcción y de la vivienda, entre otras.

### Créditos

El acceso al crédito es uno de los factores determinantes de la producción cañera en México. Junto con el rendimiento de campo y el de fábrica, así como el acceso al riego, el crédito explica 75% de la capacidad para expandir la productividad cañera para la producción de azúcar y etanol (Aguilar-Rivera *et al.*, 2013).

### Caña de azúcar como biofábrica

Con apoyo de protocolos biotecnológicos, a la caña de azúcar actualmente se le está visualizando como una biofábrica potencial para producción de bioplásticos, proteínas farmacológicas y azúcares alternativos (Gómez-Merino *et al.*, 2014). En este aspecto es necesario continuar los trabajos tanto en investigación básica como en desarrollo tecnológico, a fin de superar algunas limitaciones técnicas relacionadas con la generación de variedades biotecnológicas pero, sobre todo, la creación de modelos genéticos que ayuden a explicar la variabilidad existente y poder determinar las frecuencias alélicas para la acumulación de caracteres específicos en un organismo poliploide, y poder crear líneas según el objetivo planteado.

### Capacitación laboral

Las innovaciones que requieren ser implementadas en los sistemas de

producción de caña de azúcar en México, urgen de un apoyo considerable para el desarrollo de capacidades humanas tendientes a empoderar a productores y trabajadores del campo, técnicos y tomadores de decisiones. Instancias como el INCA Rural, el Colegio de Postgraduados, el INIFAP y la Universidad Autónoma Chapingo, por mencionar algunos, podrían dar soporte a estas iniciativas. El empoderamiento del capital humano es determinante para toda estrategia de innovación, máxime cuando se trata de cerca de 12 millones de connacionales que habitan los municipios donde se lleva a cabo esta actividad.

### Organización de productores

La organización de productores es un tema toral dentro de los procesos de innovación que se intenten poner en funcionamiento para mejorar la eficiencia y la competitividad de esta cadena de valor. Aunque ésta presenta una estructura muy compleja y con una arraigada tradición, se podrían implementar modelos estructurales que han tenido éxito en otros países donde se cultiva caña de azúcar y, de esta forma, hacer más fácil y eficiente el manejo de la agroindustria de la caña de azúcar.

### Certificación de procesos

A fin de alcanzar estándares internacionales y lograr una verdadera competitividad global, todo proceso innovador que se implemente en campo deberá contar con una certificación correspondiente. Para lograr el objetivo se deben incluir inspecciones de campos de cultivo y de las plantas de procesamiento, registro detallado del funcionamiento y mantenimiento, control periódico de suelos y el agua, además de cumplir con diferentes normas para la producción orgánica, entre otros.

## CONCLUSIONES

**El cultivo de caña** de azúcar en México presenta un gran potencial para poderse consolidar como una actividad eficiente, rentable y competitiva a nivel global. Parte de las ventajas que se tienen en México son de tipo ambiental (suelos y climas en su mayoría benéficos) y las estrategias de innovación que se implementen deberían enfocarse a aspectos técnicos (desarrollo de nuevas variedades con mayor capacidad para producir biomasa y sacarosa, y resistentes o tolerantes a factores bióticos y abióticos, 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), organizacionales (programación de siembra y cosecha, organización de la producción, organización de los productores), comerciales (nuevas estrategias de mercado, búsqueda de nuevos nichos de mercado) y gerenciales (administración integral del sistema de producción), a fin de lograr el progreso social de quienes viven a partir de los beneficios que se generan de esta cadena de valor.

## LITERATURA CITADA

- Aguilar-Rivera, N. 2012. Paradigma de la diversificación de la agroindustria azucarera de México. *Convergencia*, 59: 187-213.
- Aguilar-Rivera N., Galindo-Mendoza G., Fortanelli-Martínez J. Contreras-Servín C. 2010. Competitividad internacional de la agroindustria azucarera de México. *Theoria*, 19: 7-29.
- Aguilar-Rivera N., Espinosa-López R.A., Herrera A. Castillo A., Rodríguez-Lagunes D.A. 2013. Diamante de competitividad de la agroindustria azucarera en México. *Revista ATAM*, 26: 28-38.
- CONADESUCA. 2013. Sistema INFOCaña. Campo y Fábrica: Zafra 2012-2013. (<http://www.campomexicano.gob.mx/azcf/entrada/menu.php>).
- CONAPO. 2012. Proyecciones de la población de México 2010-2050. Consejo Nacional de Población. México, D. F. <http://www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/Proyecciones>
- Enriquez-Poy M. 2013. Azúcar de caña, la amargura del éxito. *Revista ATAM*, 26: 40-44.
- Gómez-Merino F.C., Trejo-Téllez L.I. Senties-Herrera H.E. 2014. Sugarcane as a Novel Biofactory: Potentialities and Challenges. In: R. Guevara-González, I. Torres-Pacheco (Eds.). *Biosystems Engineering: Biofactories for Food Production in the Century XXI*. Springer, Cham, Switzerland, pp. 129-149.
- Moyer M. 2010. How much is left? A graphical accounting of the limits to what one planet can provide. *Scientific American. Environment*: 74-81.
- Ortiz-Laurel H., Salgado-García S., Castelán-Estrada M. Córdova-Sánchez S. 2012. Perspectivas de la cosecha de la caña de azúcar cruda en México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 4: 767-773.
- SAGARPA. 2009. Convención Nacional de Geografía 2009. (<http://mapserver.inegi.org.mx/geografia/espanol/eventos/cng2009/memoria/cng2009/20091019%20siazucar%20para%20cng%20julio%20c-rivera.pps>)
- Vilaboa-Arroniz I. Barroso L.A. 2013. Contaminación ambiental por quema de caña de azúcar: Un estudio exploratorio en la región central del estado de Veracruz. *Memoria de ponencias Think Green 2013: Crecimiento verde, retos y oportunidades para México*.
- Yadav D.V., R. Jain and R. K. Rai., 2010. Impact of Heavy Metals on Sugarcane. In: I. Sherameti and A. Varma (Eds.), *Soil Heavy Metals-Soil Biology*. pp. 339-367.