Revista científica CENTROS
15 de julio de 2020 – Vol. 9 No. 2
ISSN: **2304-604X** *pp. 128-143*

Recibido: 04/12/19; Aceptado:15/05/20

Se autoriza la reproducción total o parcial de este artículo, siempre y cuando se cite la fuente completa y su dirección electrónica.

https://revistas.up.ac.pa/index.php/centros

indexada en

http://www.latindex.unam.mx/ http://miar.ub.edu/issn/2304-

Biotecnología aplicada a la producción de caña de azúcar en Panamá: Una visión general

Biotechnology applied to sugarcane production in Panama: An overview.

Randy Atencio V.[1]; François-Régis Goebel[2]; José Daniel Salazar[3] y Abby Guerra[4]

[1]Universidad de Montpellier, Escuela Doctoral GAIA, Francia.

[2]CIRAD (Centro de Cooperación Internacional en Investigación Agronómica para el Desarrollo), Montpellier, Francia.

[3]Liga Agrícola Industrial de la Caña de Azúcar (LAICA), Costa Rica.

[4]Laboratorio de Biotecnología, Compañía Azucarera La Estrella S.A (Grupo CALESA), Panamá.

randy.atencio@gmail.com

Resumen

La caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) es uno de los cultivos industriales más importantes en Panamá. La biotecnología aplicada a la caña de azúcar comienza a desarrollarse en diversos tópicos en el país. Considerando una serie de limitaciones de producción que incluyen área, plagas, enfermedades, malezas, entre otras. Las nuevas herramientas de la biotecnología pueden representar la solución para muchas de estas limitantes.

¿Cuál es el escenario actual y qué elementos de la biotecnología pueden integrarse a la industria cañera panameña para incrementar la producción? Este artículo de revisión se enfoca en los elementos de la biotecnología aplicados y que, potencialmente, podrían ser utilizados en la producción de caña de azúcar en Panamá, sus limitaciones y perspectivas.
Palabras clave: Biotecnología, caña de azúcar, base de datos bibliográficas.

Abstrac

Sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) is one of the most important industrial crops in Panama. Biotechnology in sugarcane is a field that is just beginning its development in the country. Considering a series of limitations for production that includes dry areas, pests, diseases, weeds just to mention a few. The new biotechnological tools could represent the solution for many of these limitations in Panama.¿What is the current scenario and what are the elements of biotechnology that the panamanian sugarcane industry would be focused on developing to increase its production. This paper overview focused on current biotechnology applied to sugarcane in Panama, its limitations and prospects.
Keywords: Biotechnology, sugarcane, bibliographic databases.

Introducción

La biotecnología moderna tiene herramientas y técnicas que permiten un medio para ofrecer prácticas agrícolas sostenibles que incluyen la ingeniería genética, micropropagación *in vitro*, diagnóstico molecular de patógenos y uso de microorganismos benéficos (hongos, bacterias y virus) para aumentar el rendimiento de los cultivos(Cockcroft et al. 2004), considerando aspectos tales como seguridad alimentaria y producción sostenible sin afectar el ambiente que son elementos requeridos para la producción de alimentos en Panamá y en otros países.

La biotecnología incluye técnicas que enfatizan la selección, aislamiento y desarrollo de organismos vivos (o parte de organismos vivos) para construir o modificar productos, mejorar plantas o animales, o desarrollar microorganismos para usos específicos (ISAAA, 2015).

Entre las aplicaciones biotecnológicas en el control biológico de plagas y patógenos en las plantas podemos incluir la producción de artrópodos enemigos naturales, entomopatógenos (bacterias, nematodos, virus y hongos), insecticidas derivados de las plantas y el uso de feromonas para manejo de plagas, que pueden usarse como alternativas a los pesticidas químicos y como componentes esenciales para el manejo de plagas (Cantú-Ruiz et al. 2017).

Luego de su primera aparición comercial en 1996 (ISAAA, 2015), los cultivos genéticamente modificados se cultivan en más de 192 millones de hectáreas, en unos 26 países alrededor del mundo (ISAAA, 2018). Solo en América, existen 12 países (Estados Unidos de América, Brasil, Canadá, México, Honduras, Costa Rica, Colombia, Bolivia, Chile, Uruguay, Paraguay y Argentina), que cultivan más de 169 millones de hectáreas, de cultivos como soya, maíz, canola, algodón, alfalfa, papa, manzanas, remolacha azucarera, entre otros (ISAAA. 2018). En el mundo, Estados Unidos de América y Brasil ocupan el primer y segundo lugar en cuanto al área dedicada a los cultivos transgénicos, con 75 y 52 millones de hectáreas, respectivamente (ISAAA, 2018).

La mayoría de las biotecnologías aplicadas a la agricultura en América Latina implican cultivos de tejidos, marcadores basados en ADN para la conservación de germoplasma, la producción de material de siembra libre de patógenos y la mejora genética. En los últimos años, países latinoamericanos como Argentina, Brasil, Colombia, Honduras, México y Uruguay han producido comercialmente cultivos transgénicos incluyendo maíz y algodón con *Bt* (*Bacillus thuringiensis* B.); maíz, arroz, soja, caña de azúcar, canola y remolacha azucarera tolerante a herbicidas; cultivos de arroz, frijoles, papa (PVX - Virus X de la papa) y papaya (PRSV-P - Virus de la mancha anular de la papaya)resistentes a virus; cultivos de tabaco, la batata, yuca y caña de azúcar resistentes a plagas; eucalipto de bajo contenido de lignina; café de maduración controlada; plátano y de tomate de calidad mejorada; incluyendo biotecnologías avanzadas, como secuenciación genética y tecnología de microarrays, caracterización, mapeo y rasgo cribado de cultivos y patógenos importantes (Roca et al. 2004; ISAAA, 2018).

La introducción de cultivos transgénicos fue uno de los principales usos de la biotecnología en la agricultura en América Central, incluyendo Guatemala (papaya), Honduras (frijoles y maíz) y Costa Rica (algodón, soja y piña), colocando a estos dos últimos entre los24 países con más cultivos de siembra de OGM (Organismos Genéticamente Modificados) en todo el mundo en 2010, donde las características más importantes en términos de comercio continúan siendo las que confieren tolerancia a los herbicidas y la resistencia a las plagas(Garro, 2012; ISAAA, 2018).

En los países de América Latina, la implementación de marcos legales regulatorios efectivos para el acceso, la distribución de beneficios de los recursos genéticos y la seguridad de la biotecnología requieren atención (Roca et al. 2004).

El objetivo de este artículo de revisión es abordar la situación actual y las perspectivas de la biotecnología aplicada a la caña de azúcar en Panamá.

Desarrollo

Una visión general de la biotecnología aplicada a la caña de azúcar

La caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) (Figura 1) tiene una larga historia de uso como alimento para humanos y animales. Se cultiva comercialmente para su uso como fuente de sacarosa. Sus subproductos se usan comúnmente como componentes de alimentos para rumiantes: el bagazo como fuente de fibra y la melaza como fuente de energía. También es bien conocido el uso a gran escala de la caña de azúcar como fuente de combustible de etanol (Cheavegatti-Gianotto et al. 2011).

Figura 1. Plantación de caña de azúcar en Panamá.

La caña de azúcar comercial representa el 70% de la producida en todo el mundo. El progreso en el mejoramiento tradicional de la caña de azúcar, una planta caracterizada por una alta poliploidía y aneuploidía frecuente, se ve obstaculizado por su estrecho conjunto de genes, su genoma complejo, su baja fertilidad y el largo ciclo de mejoramiento y selección (Arencibia et al. 1997).Estas limitaciones hacen de la caña de azúcar un buen candidato para el mejoramiento molecular.

Las herramientas biotecnológicas para la mejora de la caña de azúcar han incluido principalmente la secuenciación del genoma de la planta. La secuencia del genoma de referencia para este cultivo es primordial para ayudar tanto al desarrollo de transgénicos como a la mejora asistida por marcadores de este cultivo (Souza et al. 2019).

El interés mundial en la caña de azúcar ha aumentado significativamente en los últimos años, debido a su impacto económico en la producción de energía sostenible. La caña de azúcar genéticamente modificada, que incorpora genes para aumentar la resistencia al estrés biótico y abiótico podría desempeñar un papel importante en el logro de este objetivo, pero es necesario seguir un proceso regulatorio que evaluará los impactos ambientales y de salud de este cultivo (Cheavegatti-Gianotto et al. 2011).

Desarrollar variedades resistentes a plagas y patógenos ha sido el esfuerzo de los últimos años, pero el siguiente paso incluye variedades de caña de azúcar genéticamente modificadas. Como un ejemplo de biotecnología orientada a la caña de azúcar tenemos que la industria azucarera australiana ha centrado sus esfuerzos en potenciar con variedades GM el jugo, azúcar bruta y cristalizada (Joyce et al. 2013).

Los cultivos genéticamente modificados se han aplicado comercialmente de manera extensiva para resistencia al ataque de insectos y tolerancia a herbicidas, o la combinación de ambas (ISAAA, 2018).De allí que en Indonesia se desarrolló la primera caña de azúcar GM, cuyo objetivo fue resistencia a la sequía, desarrollada por la empresa estatal de plantaciones PT Perkebunan Nusantara, el Centro de Investigación de Plantación de Caña de Azúcar de Indonesia y expertos de la Universidad Estatal de Jember en Java Oriental(Lubis, 2013).

La industria brasileña (Brasil es el mayor productor de caña de azúcar del mundo) ha desarrollado variedades experimentales para aumentar el tonelaje considerando la resistencia contra algunas plagas (Syngenta y GranBio), variedades para áreas de baja productividad (Centro de Tecnología Canavieira (CTC)), variedades adaptadas a la cosecha mecanizada (Monsanto) y variedades para la producción de etanol (ODEBRETH Agroindustrial) (de Pierro, 2013).

En Brasil, la variedad de caña de azúcar Bt genéticamente modificada (GM), CTC 20 BT, fue la primera de caña de azúcar GM resistente a los efectos causados por el barrenador de la caña de azúcar(*Diatraea saccharalisF.*) (Mano, 2017). Para desarrollar la variedad, los científicos insertaron el gen de la toxina (Cry) de la bacteria *B. thuringiensis* (Bt) en el genoma de la caña de azúcar, para que pudiera expresar su propio insecticida contra las larvas de algunos insectos (IAPPS, 2017).

Los estudios en China han obtenido excelentes resultados con el uso de la variedad de caña de azúcar transgénica FN15, con resistencia al

barrenador de la caña de azúcar (*D. saccharalis*) y alto contenido de sacarosa (con el gen Cry1Ac, aislado de *B. thuringiensis* (Bt), que mata a las larvas de lepidópteros) (Gao et al. 2016).

Estudios en los Estados Unidos de América han estado dirigidos al uso de la variabilidad en las características agronómicas y la resistencia a los patógenos de la caña de azúcar transformada, para la resistencia a la cepa E del virus del mosaico de la caña de azúcar (SCMV). Recientemente se ha desarrollado una nueva variedad de caña de azúcar transgénica para acumular azúcares y lípidos en los tallos, lo que la convierte en una prometedora materia prima de doble propósito para producir etanol y biodiesel (Huang et al. 2017).

La investigación en el Instituto Sudafricano de Investigación de la Caña de Azúcar durante los últimos 18 años, ha incluido modificaciones orientadas a la tolerancia, a los herbicidas (glifosato y glufosinato de amonio) y el barrenador del tallo de lepidóptero *Eldana saccharina* Walker (en proceso de evaluación) a través de la inserción del gen cry1A (b)(Snyman, 2015).

Se han llevado a cabo otros estudios en la Universidad de Queensland, Australia, con ensayos con cepas de caña de azúcar GM con el objetivo de identificar las líneas de caña de azúcar con mayor contenido de azúcar (Naughtin, 2015).

El desarrollo reciente de la caña de azúcar GM, con el objetivo de la producción comercial, requiere un esfuerzo de investigación para comprender la biología molecular de la caña de azúcar. Hay demasiadas incógnitas y demasiados escenarios potenciales que podemos imaginar en los que el OGM puede ser tóxico para la salud humana (IAPPS, 2017).Es muy importante responder las preguntas que puedan surgir dentro de la población sobre la seguridad del uso de OGM, antes de uso a gran escala.

La biotecnología y el manejo integrado de plagas en caña de azúcar

Se considera comúnmente que la biotecnología son solo aquellas aplicaciones que implican la manipulación altamente especializada de

organismos tales como modificación genética, recombinación u organismos transgénicos (Alfaro, 2015). Pero el enfoque puede incluir igualmente elementos dentro del Manejo Integrado de Cultivos que involucra estrategias de Manejo Integrado de Plagas (MIP) junto con prácticas de manejo de plantaciones como el uso de variedades adaptadas a las condiciones particulares del país y con tolerancia o resistencia a plagas y sequías(Salazar et al. 2006).

Todos estos elementos permiten un uso eficiente y racional en el empleo de los recursos biotecnológicos, necesario para establecer una técnica de monitoreo de plagas y patógenos que pueda predecir su comportamiento e implementar acciones de prevención y control, con el beneficio adicional de reducir, racional y oportunamente el uso de productos sintéticos.

Una visión general de la biotecnología aplicada a la caña de azúcar en Panamá

En Panamá, la industria de la caña de azúcar se concentra en la producción de azúcar y alcohol (Para uso médico y bebidas alcohólicas). Los principales ingenios que producen azúcar son: Compañía Azucarera La Estrella (Grupo Calesa) en Coclé; Azucarera Nacional Sociedad Anónima en Coclé; Central Azucarera La Victoria en Veraguas y la Central Azucarera de Alanje en Chiriquí. El azúcar se ha consolidado como uno de los principales productos de exportación en Panamá, considerando que solamente el área de caña de azúcar para procesamiento industrial incluyó 29 494 hectáreas establecidas en el período 2018-2019, con tendencia al incremento (MIDA, 2019).

Panamá no cuenta con un centro de mejoramiento genético para el desarrollo de variedades, ni con un centro de investigación dedicado a la caña de azúcar, como sí existen en nuestros países vecinos que tienen a Cenicaña (Centro de Investigación de la Caña de Azúcar)en Colombia y LAICA (La Liga Agrícola Industrial de la Caña de Azúcar)en Costa Rica, entre otros centros de investigación en América que se dedican a la investigación básica y aplicada de aspectos relacionados con la producción, procesamiento y comercialización de los productos derivados de la caña de azúcar. Las variedades en Panamá

se importan desde centros de mejoramiento genético ubicados principalmente en Barbados, Colombia, Costa Rica, Brasil y los Estados Unidos de América.

En Panamá, entre las instituciones que han asumido la importancia de la biotecnología, promoviendo la investigación en este campo se encuentran SENACYT (Secretaría Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación), INDICASAT (Instituto de Investigación Científica y Servicios de Alta Tecnología), IDIAP (Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá), UP (Universidad de Panamá), UTP (Universidad Tecnológica de Panamá) y Universidad Latina de Panamá (Guerra, 2018).

Pero en la investigación aplicada a la biotecnología de la caña de azúcar, la participación es muy limitada. Principalmente Grupo CALESA ha invertido fondos y obtenido financiamiento parcial del estado para proyectos de investigación, además de colaboraciones para la capacitación de estudiantes de la Universidad de Panamá, para el desarrollo de competencias en la temática de biotecnología aplicada a la caña de azúcar (López et al. 2016; Peña, 2018; Grupo Calesa, 2020).

Las investigaciones de biotecnología de Grupo Calesa realizadas en los últimos años han incluido: diagnóstico molecular de patógenos en caña y arroz (usando PCR y sus variantes), producción de vitro plantas, cría de parasitoides para el control biológico de barrenadores en caña de azúcar (*Diatraea* sp.) (Figura 2), producción de micoparásitos, hongos entomopatógenos y nematodos entomopatógenos con el objetivo de combatir plagas y patógenos, para aumentar la producción de azúcar y mantener un equilibrio con el medio ambiente (Peña, 2018; Grupo Calesa, 2020).

Figura 2. Larva de Diatraea sp. en caña de azúcar en Panamá.

En Grupo Calesa, la colaboración con estudiantes de la Universidad de Panamá ha permitido llevar a cabo investigaciones para el aislamiento de las bacterias *Xhantomonas albilineans*(Ashby) Dowson y *Leifsonia xyli*subsp. *xyli* (Lxx) que causan daños a los tallos que impactan el cultivo de la caña de azúcar en Panamá (López et al. 2016); de igual manera el aislamiento y caracterización de bacterias endofíticas, para el desarrollo de bioproductos para incrementar la producción del cultivo de la caña de azúcar, con en el aislamiento de tres géneros: *Azospirillum*, *Herbaspirillum* y *Gluconacetobacter*, donde los experimentos de campo lograron reducir hasta el 50% del uso de fertilizantes sintéticos (Fuentes et al. 2016).

En Panamá, el marco legal relacionado a la biotecnología incluye la Ley 48 de 2002 de la Asamblea Legislativa de Panamá que creó la Comisión de Bioseguridad para los Organismos Genéticamente Modificados y otras disposiciones, que consecutivamente ha sido reforzada en 2017 con la Resolución No. ADM/ARAP 014 que crea el Comité Institucional de Bioseguridad para los Organismos Genéticamente Modificados (OGM), de la Autoridad de los Recursos Acuáticos de Panamá (Gaceta Oficial, 2017).

Consideraciones finales

Considerando que entre los problemas de la caña de azúcar en Panamá se incluyen: sequía, fertilización, suelos pobres, plagas, fitopatógenos, malezas, rendimiento bajo en azúcar de las variedades, entre otras limitantes, la biotecnología ofrece una variedad de herramientas que pueden implementarse.

La industria cañera en Panamá tiene fortalezas y oportunidades que deben ser consideradas, entre las cuales se incluyen el uso de variedades resistentes a patógenos, ejecución de pruebas con técnicas moleculares para la detección de patógenos, biofábrica de vitroplantas libres de fitopatógenos, programas de manejo integrado de plagas, programas de control biológico, entre otras, considerando que aún existe la oportunidad de aplicar muchas herramientas que la biotecnología en la actualidad puede ofrecer a la industria.

Pero muchas de las variantes de la biotecnología, especialmente el uso de variedades genéticamente modificadas, requieren una evaluación exhaustiva de los parámetros legales actuales, la aceptación pública y la investigación de variedades.

En Panamá, las variedades de caña de azúcar genéticamente modificadas no se han introducido o evaluado formalmente. Está claro que este mercado podría ser incursionado en los próximos años por las fábricas en colaboración con algún centro de mejoramiento genético. Es importante establecer las bases adecuadas para estas evaluaciones y el potencial de estas variedades para resolver las limitaciones específicas del sector panameño de la caña de azúcar.

La creación y el establecimiento, en la próxima década, en Panamá de un centro de investigación de caña de azúcar que incluya el cruzamiento y mejoramiento de caña de azúcar y desarrollo de proyectos para la implementación de nuevas tecnologías orientadas al incremento del rendimiento del cultivo, se hace imprescindible para el desarrollo del cultivo en el país.

El desarrollo de la biotecnología requiere el apoyo tanto del sector público como privado, considerando todo el potencial de generación de empleos que la industria azucarera genera en el país, junto con capacitación y divulgación orientada a este campo por centros educativos a nivel universitario del país.

Referencias Bibliográficas

Alfaro,P.J.F.(2015). Situación y perspectivas de la Biotecnología del Cultivo de la Caña de azúcar en Costa Rica. VI Congreso Tecnológico del Departamento de Investigación y Extensión de la Caña de Azúcar (DIECA). Liga Agrícola Industrial de la Caña de Azúcar (LAICA). 20 y 21 agosto del 2015, Cooperativa Victoria, Grecia, Costa Rica.CD.

Arencibia, A., Vázquez, R.I., Prieto, D., Téllez, P., Carmona, E., Coego A., Hernández L., De la Riva G., y Selman-Housein G. (1997). Transgenic sugarcane plants resistant to stem borer attack. *Molecular Breeding, 3***,** 247–255.

Cantú-Ruiz, A. L., Galván-Quintero, A. O., y Mar-Solís, L. M. (2017). Aplicaciones biotecnológicas en el control biológico. *Artrópodos y Salud,7*(1), 54-70.

Cheavegatti-Gianotto, A., Couto de Abreu, H.M., Arruda, P., Bespalhok, J.C., Lee W., Creste, S., di Ciero, L., Aparecido, J., Vargas de Oliveira, A., de Sousa, T., Grossi-de-Sá, M.F., Guzzo ,E.C., Hoffmann, H.P., Guimarães de Andrade, M., Macedo, N., Matsuoka, S., de Castro, F., Romano E., da Silva W.J., de Castro M., y Ulian E.C. (2011).Sugarcane (*Saccharum* X *officinarum*): A Reference Study for the Regulation of Genetically Modified Cultivars in Brazil.*Tropical Plant Biology,4*,62–89.

Cockcroft, C.E., Herrera-Estrella, L., y Borroto, C.G.(2004). Agricultural Biotechnology in Latin America and the Caribbean, In: The Handbook of Plant Biotechnology, John Wiley & Sons, Ltd..

De Pierro, B. (2013). From bagasse to innovation. In the midst of an industry crisis, companies are investing in technology to increase ethanol production.*Pesquisa FAPESP,* 60-65.

Fuentes, A., Guevara, P., López, S., Hernández, H., y Guerra, A.(2016). Aislamiento y caracterización de bacterias endófitas, para el desarrollo de un bioproducto para el cultivo de la caña de azúcar, CO-39. XVI Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología. Ciencia para la Equidad y el Desarrollo Sostenible, 19 al 22 de octubre, Wyndham Panamá Hotel Albrook Mall, Ciudad de Panamá.

Gaceta Oficial. (2017). Autoridad de los Recursos Acuáticos de Panamá. Recuperado de https://www.organojudicial.gob.pa/uploads/wp_repo/blogs.dir/cendoj/gacetano-28357-20170904.tierras.pdf

Gao, S., Yang, Y., Wang, C., Guo, J., Zhou, D., Wu, Q., Su, Y., Xu, L., y Que, Y. (2016).Transgenic Sugarcane with a cry1Ac Gene Exhibited Better Phenotypic Traits and Enhanced Resistance against Sugarcane Borer.*PLoS ONE,11*(4), e0153929.

Garro, G. (2012). Development of food crops by modern biotechnology techniques in Central America.*Tecnología en Marcha,* 25(5), 40-54.

Gilbert, R.A., Gallo-Meagherb, M., Comstockc, J.C., Millerc, J.D., Jaind M., y Abouzidd A. (2005).Agronomic Evaluation of Sugarcane Lines Transformed for Resistance to *Sugarcane mosaic virus* Strain E. *Crop Science,45*(5), 2060-2067.

Grupo CALESA. (2020). Biotechnology. Recuperado de http://www.grupocalesa.com/en/biotechnology/

Guerra, A. (2018). Organismos benéficos y la agricultura moderna, Protección Ambiental, Opinión, La Prensa.Recuperado de https://www.prensa.com/opinion/Organismos-beneficos-agricultura-moderna_0_4996000417.html.

Huang, H., Moreau, R.A., Powell, M.J., Wang, Z., Kannan, B., Altpeter, F., Grennan A.K., Long S.P., y Singh V.(2017). Evaluation of the Quantity and Composition of Sugars and Lipid in The Juice and Bagasse of Lipid Producing Sugarcane.*Biocatalysis and Agricultural Biotechnology,10*,148-155.

IAPPS (International Association for the Plant Protection Sciences). (2017). Brazil: transgenic sugarcane, Global Plant Protection News. Recuperado dehttps://iapps2010.me/2017/06/27/brazil-transgenic-sugarcane.

ISAAA (International Service for the Acquisition of Agribiotech Applications). (2015). 50 Biotech Bites. ISAAA: Ithaca, New York, USA. Recuperado de http://www.isaaa.org/.

ISAAA International Service for the Acquisition of Agribiotech Applications (2018). Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops in 2018: Biotech Crops Continue to Help Meet the Challenges of Increased Population and Climate Change. ISAAA Brief No. 54. ISAAA: Ithaca,NY.Recuperado de https://www.isaaa.org/resources/publications/briefs/54/executivesummary/pdf/B54-ExecSum-English.pdf

Joyce, P.A., Dinh, S.Q., Burns,E.M., y O'Shea,M.G. **(2013).**Sugar from genetically modified sugarcane: Tracking transgenes, transgene products and compositional analysis.*International Sugar Journal***,** 860-863.

Julian, L. (2017). Science of Food: A current perspective of GMOs and RoundUp, Summit Daily.Recuperado de https://www.summitdaily.com/explore-summit/science-of-food-a-current-perspective-of-gmos-and-roundup/. January 12.

López, S., Guevara, P., Fuentes, A., Hernández, H., y Guerra, A. (2016). Aislamiento, caracterización bioquímica y molecular de *Xanthomonas albilineans* y *Leifsonia xyli* en cultivos de caña de azúcar en Panamá. CO-38, XVI Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología. Ciencia para la Equidad y el Desarrollo Sostenible. 19 al 22 de octubre de 2016, Wyndham Panamá Hotel Albrook Mall, Ciudad de Panamá.

Lubis, A. (2013). Indonesia Developing World's First GMO Sugar Cane, In Sustainable Agriculture. The Jakarta Post. Recuperado de http://www.thejakartapost.com/news/2013/05/20/developmentunderway-first-transgenic-sugarcane-plantation.html.

Mano, A. (2017). Brazil approves world's first commercial GM sugarcane: developer CTC, REUTERS.Recuperado dehttps://www.reuters.com/article.

MIDA (Ministerio de Desarrollo Agropecuario). 2019. Información General, Año 2018-2019. Unidad de Planificación. Dirección de Agricultura. Recuperado de https://www.mida.gob.pa/upload/documentos/cierre___2018-2019_ok.pdf

Naughtin, P. (2015). University of Queesland trials genetically-modified sugar cane, Cropping, The Weekly Times. Recuperado de https://www.weeklytimesnow.com.au/agribusiness/cropping.

Garsmeur, O., Droc, G., Antonise, R., Grimwood, J., Potier, B., Aitken, K., Jenkins, J., Martin, G., Charron, C., Hervouet, C., Costet, L., Yahiaoui, N., Healey, A., Sims, D., Cherukuri, Y., Sreedasyam, A., Kilian, A., Chan, A., Van Sluys, M.-A., Swaminathan, K., Town, C., Bergès, H., Simmons, B., Glaszmann, J.C., van der Vossen, Henry, R., Schmutz, J., y D´Hont, A. (2018). A mosaic monoploid reference sequence for the highly complex genome of sugarcane. *Nature Communications, 9*, 2638.https://doi.org/10.1038/s41467-018-05051-5

Peña, C. (2018). Investigadores científicos exponen los resultados de sus investigaciones sobre “Aplicaciones de Biotecnología para el Desarrollo Agropecuario”, PanamáOn.com Recuperado de http://www.panamaon.com/noticias/educacion/45677-investigadores-cientificos-exponen-los-resultados-de-sus-investigaciones-sobre-aplicaciones-de-biotecnologia-para-el-desarrollo-agropecuario.html.

Roca, W., Espinoza, C., y Panta, A. (2004).Agricultural Applications of Biotechnology and the Potential for Biodiversity Valorization in Latin America and the Caribbean.*AgBioForum*, 7(1&2), 13-22.

Salazar, B.J.D., Oviedo, R., y Sáenz, C.E. (2006). Descripción, manejo y control del barrenador común del tallo de la caña de azúcar en Costa Rica, XVI Congreso de la Asociación de Técnicos Azucareros de Centroamérica.1 al 4 de agosto de 2006. Centro de Convenciones del Hotel Ramada Plaza Herradura, Heredia, Costa Rica.

Snyman, S. (2015). Genetically modified sugarcane and *Eldana*, Agronomist’s Association Annual Symposium, South African Sugarcane Research Institute (SASRI), 18 p.

Souza, G.M., Van Sluys, M.A., Gimiliani Lembke, C., Lee, H., Rodrigues Alves, G., Takeshi Hotta, C., Weissmann Gaiarsa, J., Lima Diniz, A., Oliveira, M., Ferreira, S., Yutaka Nishiyama, M., ten-Caten, F., Tolfo Ragagnin, G., Andrade, P., de Souza, R.F., Gonçalves Nicastro, G., Pandya, R., Kim, C., Guo, H., Mitchell Durham, A., Sampaio Carneiro, M., Zhang, J., Zhang, X., Zhang, Q., Ming, R., Schatz, M.C., Davidson, B., Paterson, A.H., y Heckerman, D. (2019). Assembly of the 373k gene space of the polyploid sugarcane genome reveals reservoirs of functional diversity in the world's leading biomass crop. *GigaScience*, *8*(12), 1-18. https://doi.org/10.1093/gigascience/giz129