

Producción de azúcar a partir de sorgo dulce; una alternativa ambiental y económica para la agroindustria mexicana

RESUMEN: La relevancia de la industria azucarera en México se manifiesta en la aportación que tiene está, generando el 0.4% del PIB nacional, siendo la cuarta agroindustria más productiva del país. Esta se encuentra presente en 227 municipios y 15 estados de la República. En México la materia prima utilizada en esta industria es la caña de azúcar, sin embargo, en el periodo 2013-2018 los precios del producto han ido en aumento en el país, causado principalmente por la introducción de los edulcorantes artificiales y productos no calóricos, ocasionando un menor poder adquisitivo en las familias mexicanas. El grupo de investigación del ITVer está desarrollando nuevos procesos enfocados a la diversificación del sorgo dulce, en ese sentido uno de los productos de interés es el azúcar de sorgo dulce a partir de la variedad RB CAÑAVERAL, la cual tiene las siguientes características: altos contenidos de azúcares, resistencia a sequías e inundaciones y bajos requerimientos hídricos, entre otros. Este cultivo origina rendimientos de hasta 109 kg de azúcar por tonelada de sorgo dulce, y su producción en campo es de tres veces al año, estas características del sorgo son una oportunidad para mitigar el impacto ambiental y mejorar la agroindustria debido a los bajos costos como materia prima.

PALABRAS CLAVE: Sorgo dulce, azúcar, procesos, agroindustria



Colaboración

Leidy Yarely Lopez Olivares; Noe Montes García; Saúl Santiago Cruz, Instituto Tecnológico Superior de Misantla; María Guadalupe Aguilar Uscanga, Instituto Tecnológico de Veracruz - UNIDA

ABSTRACT: The relevance of the sugar industry in Mexico is demonstrated by its 0.4% contribution to the national PIB, being the fourth most productive agribusiness in the country. It is present in 227 municipalities and 15 states of the Republic. In Mexico, the raw material used in this industry is sugarcane; in the 2013-2018 period the prices of the product have been increasing in the country, mainly caused by the introduction of artificial sweeteners and non-caloric products, causing less purchasing power in Mexican families. The ITVer research group is developing new processes focused on the diversification of sweet sorghum, one of them being to produce sweet sorghum sugar from the RB CAÑAVERAL variety which has the following characteristics: high sugar content, resistance to droughts and floods, low water requirements, among others. This crop, harvested three times a year, produces yields of up to 109 kg sugar per ton of sweet sorghum. These characteristics provide an opportunity to mitigate the environmental impact and to improve agribusiness due to its low cost as a raw material.

KEYWORDS: Sweet sorghum, sugar, process, agribusiness.

INTRODUCCIÓN

El endulzante por excelencia mundial desde hace muchos siglos es la azúcar (sacarosa) la cual se obtiene principalmente de la caña de azúcar y la remolacha, mundialmente se produce en alrededor de 127 países, excediendo las más de 180 millones de toneladas al año, los primeros lugares en producción de azúcar son Brasil con 40 millones de toneladas, India con 32 millones, Unión Europea con 20 millones, Tailandia con cerca de 15 millones, China con 10 millones, Estados Unidos con casi 8 millones y México con más de 6.4 millones de toneladas (DOF, 2018). México ocupa el séptimo lugar en producción y en consumo mundial (Verguera, 2018). De acuerdo a la información brindada por la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación en promedio un mexicano consume de 42 a 52 kg de azúcar al año (López, 2018). El Comité Nacional para el Desarrollo

Sustentable de la Caña de Azúcar (CONADESUCA), registra que esta agroindustria proporciona alrededor de 930 mil empleos directos, aproximadamente 2.2 millones de empleos indirectos, y es considerada una actividad importante por su impacto social y económico; representa el 0.4% del PIB nacional, el 11.6% del PIB primario, y 2.5% del PIB manufacturero.

La industria azucarera nacional está conformada por 51 ingenios los cuales están distribuidos en 15 estados de la república destacándose Veracruz con 18 (CNIAA, 2018), se producen varios tipos de azúcar en los que se encuentran refinada, estándar, blanco especial y mascabado, las cuales satisfacen en su totalidad la demanda nacional que en este ciclo fue de 4.1 millones de toneladas (CONADESUCA, 2019). La materia prima fundamental en México para la industria azucarera es la caña de azúcar, la cual es una gramínea tropical de tallo macizo de 2 a 5 m de altura, con 5 o 6 cm de diámetro, cilíndrico, alargado y sin ramificaciones, dividido en nudos y entrenudos, donde se almacena el azúcar (López, 2018). Cabe mencionar que en el periodo 2013-2018 el precio del azúcar se ha visto en aumento, de acuerdo a la información brindada por el Sistema Nacional de Información e Integración de Mercados (SNIIM), derivado de diferentes circunstancias en las que destaca la introducción de edulcorantes artificiales o productos no calóricos al mercado nacional, el cual va en aumento cerca del 40% anual (CONADESUCA, 2019), así como también el incremento del costo de la materia prima y los tiempos de pérdida en los periodos de zafra incrementando los costos de producción, mantenimiento, etc., ocasionando un menor poder adquisitivo en las familias mexicanas. Debido a estas circunstancias es que se ve la necesidad del desarrollo de nuevas alternativas que maximicen los rendimientos de producción y además contribuyan a minimizar los efectos en los suelos, tal es el caso del sorgo dulce, cuyo cultivo cuenta con características similares a la caña de azúcar, pero con beneficios económicos y ambientales.

El sorgo dulce (*Sorghum bicolor*, (L.) Moenc) es un cultivo que puede ser utilizado para producir azúcar, alcohol y biocombustible. Se piensa que antes de ser registrado en la historia fue producido en la India y en Siria desde 700 años A. C. Se considera al sorgo como el quinto cereal más importante del mundo (Núñez, 2008). Se registra que los principales países productores son Estados Unidos con más de 12 millones de toneladas, India con 9 millones, México con 7 millones, China con más de 6 millones, Nigeria con casi 5 millones, Argentina con 2 millones, Sudán con 2 millones, Etiopía con casi 2 millones y Australia con más de un millón de toneladas (FAO, 2019). México está situado en el tercer lugar de producción mundial con 7.1 millones de toneladas al año, proporcionando alrededor del 11% de las cosechas mundiales (FAO, 2019). En términos de ubicación geográfica, alrededor del 85%

de las cosechas anuales se obtienen en sólo cinco entidades federativas, que en orden de importancia son: Tamaulipas, Guanajuato, Michoacán, Jalisco y Sinaloa, las cuales reportan producción en ambos ciclos agrícolas, destacando el ciclo primavera-verano con el 63% de la producción anual, (FAO, 2019). Existen diversas variedades de sorgo dulce (RB cañero, Dale, Etanol, Huasteco y Norteño entre otros) con tallos ricos en azúcares, granos y biomasa los cuales pueden ser utilizados para la fabricación de diversos productos de interés biotecnológico considerando el aprovechamiento integral de toda la planta (Montes et al., 2010). Este potencial lo hace un cultivo muy atractivo para la obtención de diversos productos tales como: bioetanol, ácidos orgánicos (acético, láctico y succínico), endulzantes (azúcar y jarabe de alta fructosa), edulcorantes (xilitol, manitol y sorbitol) y bebidas alcohólicas (ron y alcohol de sorgo) entre otros.

Se ha estudiado que el tallo del sorgo dulce concentra grandes cantidades de azúcar (Uribe et al., 2017); entendiendo que estas cantidades pueden ser similares o más altos que los de la caña de azúcar (*Saccharum spp.*), aunque el mecanismo de acumulación del azúcar es diferente (García, 1986); se tiene estipulado que la caña de azúcar requiere al menos de 12 a 16 meses de clima tropical para madurar, mientras que el sorgo requiere de 3 a 5 meses, es tolerante a la sequía, salinidad e inundaciones, además puede llegar a medir de 1 a 3 m dependiendo la superficie (Bueno, 2009). La composición físico-química del sorgo dulce varía según la variedad, estadio de la planta y condiciones de cultivo, en promedio los azúcares del sorgo dulce consisten de 85 % (en peso) de sacarosa, 9 % glucosa y fructosa 6 % en promedio, y sólo sacarosa se puede convertir fácilmente en azúcar blanco (Silva et al., 2016).

Por lo tanto, el objetivo de este trabajo es presentar que, debido a la composición de azúcares en el sorgo dulce, es una excelente alternativa para la agroindustria azucarera en México, de forma que se puede integrar en cualquier ingenio debido a la naturaleza y similitud del proceso de producción con la azúcar de caña, pero a la vez minimizando la problemática económica y ambiental que actualmente se tiene con el cultivo de caña.

MATERIAL Y MÉTODOS

Materia Prima:

Para llevar a cabo este estudio, primero se realizó una investigación enfocada a la selección de la materia prima considerando las variedades de sorgo dulce generadas y registradas por el INIFAP ante el Sistema Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS), estas variedades que se seleccionaron fueron: RB Cañaveral, RB-Cañero, G-Star 501 y Tanol 2, ya que fueron las que contenían mayor cantidad de azúcares y se encuentran registradas ante el SNICS,

lo que tiene la ventaja de que se puede disponer de estas semillas en México sin depender de otros países.

Proceso de Producción:

La planta piloto de bioetanol de primera y segunda generación que se encuentra ubicada en el Instituto Tecnológico de Veracruz, tiene como función el desarrollo de nuevos procesos o alternativas para el mercado de los biocombustibles, pero de la mano, se desarrollan proyectos de investigación en los que se encuentra la producción de azúcar de sorgo dulce, que de acuerdo a la literatura requiere del mismo proceso de producción del azúcar de caña, proporcionando rendimientos similares, actualmente una tonelada de caña genera cerca de 112 kg de azúcar (CONADESUCA, 2019), mientras que una tonelada de sorgo dulce genera alrededor de 109 kg generando un panorama positivo para la producción de azúcar a base de sorgo dulce (Gnan-sounou, 2005). Actualmente la planta piloto cuenta con una capacidad de producción de 4 toneladas diarias, lo que desde un punto de vista industrial es bastante bajo para definir si el proyecto es rentable o no, es por eso, que se analizó cada una de las etapas, entradas y salidas, se realizó un escalonamiento para una planta con capacidad de 200 toneladas diarias y con los datos obtenidos de los balances de materia y energía, así como el análisis económico se compara esta nueva tecnología con la actual tecnología que tienen los ingenios, para definir si es competitivo.

Mercado:

Para el estudio de mercado en el que se aborda la demanda y oferta que existe del producto, se llevó a cabo una investigación a través de diferentes fuentes de información y bases de datos tales como: Comité Nacional para el Desarrollo de la Caña de Azúcar (CONADESUCA) y la Cámara Nacional de las Industrias Azucareras y Alcohólicas (CNIAA), basado en datos históricos que se tienen registrados, con estos datos se realizó una regresión lineal para determinar la relación existente entre las variables y determinar la ecuación de regresión, con la cual se hace un pronóstico del comportamiento que pueden tener a futuro estos dos factores.

El análisis de la regresión lineal se determinó mediante el software Excel, partiendo de la ecuación de regresión (Ecuación 1).

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_i \quad \text{Ec. (1)}$$

Donde: Y_i es la variable dependiente; X_i es la variable independiente; β_0 es la ordenada al origen y β_1 es la pendiente de la función. Se realizó el diagrama de dispersión en el software mencionado, posteriormente se prosiguió a obtener la ecuación de regresión mediante la línea de tendencia que representan los datos y así poder conocer la proyección que siguen la oferta y demanda nacional.

Por otra parte, para conocer los precios que se están obteniendo de este producto a nivel nacional e internacional se consultó el Sistema Nacional de Información e Integración de Mercados (SIIM) encargada de proporcionar el comportamiento de los precios de productos agrícolas, pecuarios y pesqueros en los mercados nacionales e internacionales, y por otra parte se consultó el Contrato N°11 de New York, quien se encarga de operar los precios del azúcar a nivel internacional la cual se realiza en centavos americanos por libra inglesa, la comercialización de azúcar comprende 12 meses de los cuales iniciando en el mes de octubre y finalizando en septiembre (Magallón, 2014).

Así también se analizó el estatus económico de la materia prima ya que parte fundamental es determinar si existe un alto impacto en este factor, se prosiguió a buscar los informes en el reporte final de producción de azúcar y caña, donde se brindan los parámetros para calcular el pago de la caña a los agricultores, así como en la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación para los datos del sorgo dulce, conociendo esto se puede comparar ambos precios por tonelada.

RESULTADOS

Materia Prima:

El Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), inició un programa de investigación sobre la introducción de cultivares provenientes de la Estación Meridian, al Campo Experimental Río Bravo-CIRNE en Tamaulipas durante el año 2006 (Cisneros et al., 2018). Las variedades experimentales presentaron mejora en varias características en las que destacaron la mayor susceptibilidad a plagas y enfermedades que los sorgos de grano sembrados en la zona, rendimientos y producción de azúcares, la principal variedad con mejoras fue el RB-Cañero (Montes et al., 2010). Una segunda prueba durante el ciclo P-V- 2012 en Cotaxtla, Ver., dio inicio buscando obtener mayor aumento en las siguientes características: producir un alto rendimiento de tallos medianos a grandes, crecimiento vigoroso y tolerancia al acame, alto porcentaje de jugo extraíble y contenido total de sólidos solubles (°Brix), principalmente azúcares, por otra parte, mayor tolerancia a sequía, a suelos con mal drenaje, a manchas foliares por antracnosis, pudrición del tallo y al virus del mosaico del maíz. Se clasificaron 19 genotipos con base en la producción de carbohidratos y biomasa: dos híbridos comerciales de sorgo para grano (RB-Norteño y RB-Huasteco), sus respectivas líneas progenitoras (SBA 22 y SBA25) y 15 genotipos de sorgo dulce, destacando las variedades de RB-Cañero, RB CAÑAVERAL y el híbrido RB TEHUA. En ese estudio se cuantificó la cantidad de glucosa, fructuosa, sacarosa (°Brix), azúcares totales solubles, hemicelulosa y lignina (polisacáridos estructurales), biomasa del tallo, peso del bagazo, volumen, pH y peso del jugo.

Respecto al análisis de las variedades estudiadas en la Tabla 1 se muestran los resultados de la evaluación de los azúcares de las cuatro variedades que generaron mayores concentraciones.

El contenido de °Brix y de azúcares varía en diferentes variedades y también depende de las condiciones ambientales, época del año y etapa de cosecha, por lo tanto, esta variedad es un buen productor de azúcares solubles, cabe mencionar que la altura es un carácter de importancia en sorgo dulce porque está asociado con la producción de azúcares (Murray et al., 2009), en base a estos resultados se puede observar que el RB CAÑAVERAL es la variedad que presenta el mayor contenido de °Brix y de azúcares totales, convirtiéndose en el cultivo principal para producir azúcar compitiendo directamente con la caña, pues sus propiedades endulzantes se encuentran en el mismo nivel ahora.

Tabla 1. Pruebas de encendido de las briquetas enriquecidas con microalgas y briquetas control.

Genotipo	Altura	Biomasa (t hā ⁻¹)		Volumen del jugo (L ha ⁻¹)	°Brix	Azúcares Totales (g L ⁻¹)
	(cm)	Total	Tallo			
RB CAÑAVERAL	218	32	25	8261	16.5	158.0
RB-Cañero	213	42	31	10273	13.4	119.5
G-Star 501	202	32	21	7033	10.6	84.5
Tanol 2	202	35	24	7920	13.0	126.9

Proceso de Producción:

Los resultados obtenidos a nivel planta piloto son una base importante para poder llevar a cabo el análisis para un escalamiento a plantas comerciales, por lo tanto, este estudio partirá de la capacidad de procesar 200 toneladas de sorgo dulce al día, lo que equivale al 0.03% de la producción nacional, basándose en la tecnología y rendimientos obtenidos de la Planta Piloto de Bioetanol del Instituto Tecnológico de Veracruz. En la Figura 1 se describe el mapa del proceso con los balances y flujos de alimentación de acuerdo a la capacidad estipulada.

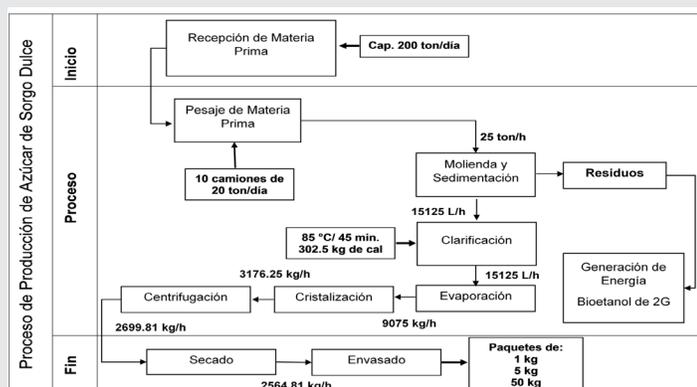


Figura 1. Diagrama general del proceso de producción de azúcar a partir de sorgo dulce (Fuente: elaboración propia).

Con el escalonamiento realizado y un proceso de producción óptimo se denota un panorama sobresaliente en la producción de azúcar de sorgo dulce, registrando una producción de 2564.81 kg/h, este proceso se contempla desde la recepción de la materia prima teniendo una capacidad de 200 ton., prosiguiendo con el pesaje de la misma mediante una báscula para camiones, se continua con el proceso de molienda el cual extrae el jugo de sorgo dulce, posteriormente se lleva mediante bombeo a un tanque de clarificación en el cual se debe calentar a una temperatura de 85°C para eliminar las impurezas o materias extrañas, continuando con la evaporación cuyo objetivo es eliminar la mayor cantidad de agua, resultando una melaza con un 60% de solubles concentrados, sigue la cristalización cuyo actividad consiste obtener una masa cocida con concentraciones de 85-90% de cristales, la centrifugación es la etapa donde se realiza la separación de los cristales mediante movimientos rotatorios, el secado consiste que, mediante un tambor rotatorio se suministra calor para que los cristales pierdan la humedad y así poder ser envasados en paquetes de 1kg, 5kg para ventas domésticas y en costales de 50 kg para exportación, brindando un panorama favorable en la producción de azúcar ya que se cuenta con un rendimiento de 109 kg/t y un proceso eficiente al 100%, generando una participación y competencia en el mercado nacional e inclusive internacional, proporcionado tentativamente un precio más bajo en el producto final.

Mercado:

Evaluando la oferta y demanda de acuerdo a los datos históricos, se construyó la Figura 2, apreciando que el ciclo 2018-2019 la oferta asciende a los 6.4 mt, mientras que la demanda está por debajo de los 4.1 mt. Apreciando la línea de tendencia que estas generan y por consiguiente la ecuación de regresión correspondiente a cada una de las variables analizadas.

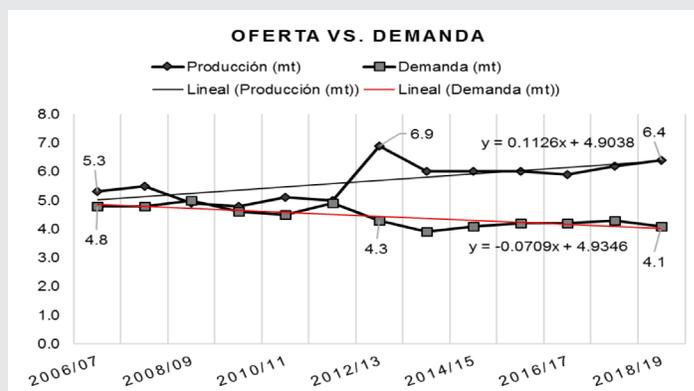


Figura 2. Análisis de la oferta y la demanda del azúcar en México. (Fuente: elaboración propia).

Como podemos apreciar existe un superávit en la producción del azúcar con respecto a la demanda que se tiene nacionalmente, pero a nivel mundial estamos situados en el séptimo lugar de producción por

debajo de países como Estados Unidos, Unión Europea y Brasil que se destaca con más de 30 millones de toneladas al año, demostrando un panorama nada competitivo internacionalmente para el país, México solo contribuye con cerca del 3% de la producción mundial y exporta principalmente a Estados Unidos, República Dominicana, Canadá, Australia, Puerto Rico de acuerdo al Tratado de Libre Comercio (CONADESUCA, 2019).

Por otra parte, mediante la determinación de ecuación de regresión lineal y el análisis de la línea de tendencia, se expresa que la demanda origina una baja a partir del 2013 a la actualidad, dicha ecuación se presenta a continuación y ayudará a pronosticar los próximos ciclos.

$$Y_i = 4.6267 - 0.0576 X_i \quad \text{Ec. (2)}$$

Por consiguiente, analizando la baja en este factor, generada principalmente por la introducción de los edulcorantes artificiales y productos no calóricos, destacándose el Jarabe de Maíz de Alta Fructuosa (JMAF) con una demanda del 24% y el 3.1% a otros edulcorantes (García, 2018), se estima que el JMAF ha presentado un incremento del 40% anualmente del 2010 a la actualidad (CONADESUCA, 2019), la industria estimaba un máximo de 26 Kg per cápita, hasta antes de la entrada del JMAF, ahora se ubica en 22 Kg (García, 2018), la principal característica que presentan estos productos es un poder endulzante mayor con menores índices calóricos, además de precios más bajos, beneficiando a la industria refresquera y dulcera principalmente. Cabe mencionar que estas sustancias siempre han estado en discusión en los principales foros alimenticios y de salud, generando desconcierto entre los consumidores de productos bajos en calorías, e incluso múltiples dudas entre las propias autoridades regulatorias, en especial cuando se habla de los daños que ocasionan a la salud (Rubén, 2010), generando así una oportunidad al azúcar de sorgo dulce, que aunque todavía no es conocida brinda el mismo poder endulzante que la azúcar de caña, pero a menor costo tanto para los consumidores como para los agricultores.

Así también se calculó la ecuación 3 para la oferta, que se muestra a continuación.

$$Y_i = 5.0333 + 0.1448x_i \quad \text{Ec. (3)}$$

Y el panorama que esta refleja es alentador en este sector de la agroindustria, pues del 2014 a la actualidad se ve una tendencia que se mantiene entre el rango de 6 a 6.5 millones de toneladas producidas por cada ciclo de zafra, es decir, que se va al alza en este panorama, pero, remarcando que actualmente los ingenios trabajan aún rendimiento por fábrica del 11.27%,

demostrando que tanto en tecnología y proceso no están optimizando, afectado el costo del producto final, así como el bolsillo de las familias mexicanas. Se manifiesta que al analizar el precio de la azúcar según datos del Sistema Nacional de Información e Integración de Mercados (SNIIM) y realizar el gráfico comparando el precio internacional, se construye la Figura 3.

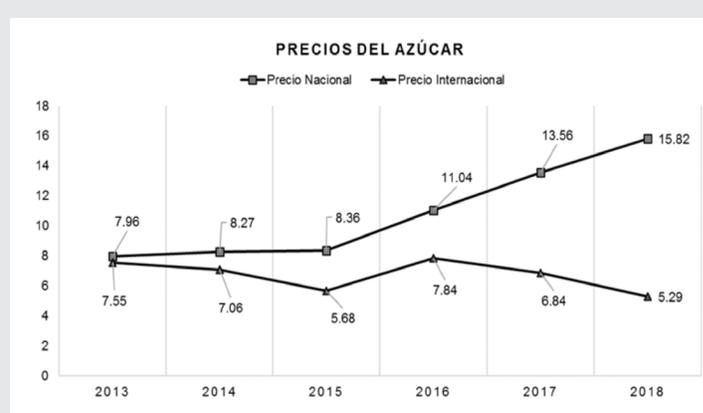


Figura 3. Precios de la azúcar nacionales e internacionales (Fuente: SNIIM, 2019).

Se muestra que el costo que se registra nacionalmente es elevado al que se concluye internacionalmente, reflejando una baja competitividad de la agroindustria azucarera mundialmente, de seguir así los panoramas, no se verá beneficiada la industria al exportar el producto, generando un mayor aumento en el precio nacional y afectado al bolsillo mexicano.

Como se mencionó, una de las principales causas del aumento del precio en la azúcar es el incremento en el costo de la materia prima, desencadenando un análisis para evaluar la evolución del precio por tonelada de caña de azúcar y del sorgo dulce, con el fin de poder hacer una comparación entre ambos cultivos. La Tabla 3 presenta los resultados obtenidos, en donde podemos ver que el costo por tonelada de caña de azúcar ha ido al alza desde el 2013 hasta 2018, y se prevé siga en incremento.

Tabla 3. Costo de la Tonelada de Caña y Sorgo Dulce (Fuente: Elaboración propia).

Ciclo	Caña	Sorgo Dulce
2011/12	695	320
2012/13	455	300
2013/14	474	350
2014/15	543	430
2015/16	747	400
2016/17	892	390
2017/18	859	350

Contrariamente a la caña de azúcar, el sorgo dulce que si bien ha ido en aumento este no ha sido significativo o muy elevado en comparación con el porcentaje de aumento que ha tenido la caña de azúcar. El histórico muestra los precios en pesos mexicanos del

2011 al 2018, en el cual se aprecia que en los periodos 2012 a 2015 se mantuvo una relación cercana entre precio de venta por tonelada de ambos cultivos, pero en los siguientes ciclos la tonelada de caña de azúcar se disparó en gran medida, esto principalmente se debe a que, el Congreso Nacional para el Desarrollo Sustentable de la Caña de Azúcar decreto que el pago de la caña de azúcar se dará en base al pago de la tonelada de azúcar estándar, el cual en los últimos ciclos ha ido en aumento. Esto podría beneficiar a los productores de caña debido a que en promedio el costo de producción por tonelada de caña supera los \$650.00 pesos mexicanos (SAGARPA, 2018), cabe mencionar que la materia prima es un punto clave en la calidad del producto, actualmente se han registrado bajos contenidos de azúcar en la caña lo que se ve reflejado en un menor rendimiento del jugo y en la producción de azúcar, esto debido a la falta de agua en el riego del cultivo, lo cual se puede minimizar con la introducción de sorgo dulce como materia prima en esta industria, ya que requiere cuatro veces menos agua, obteniendo un aprovechamiento de 3 cosechas al año.

CONCLUSIONES

Se entiende que el sorgo dulce nunca se había tomado en cuenta en el sector azucarero, debido a los bajos contenidos de azúcares que manejaba, pero con la manipulación genética de diferentes variedades, se han logrado índices cercanos e incluso superiores a la caña de azúcar, enmarcado la nueva era para este cultivo.

Se estima que, con el sorgo dulce como materia prima, utilizando la variedad RB-CAÑAVERAL, además de la tecnología y procesamiento de la planta piloto de bioetanol del Instituto Tecnológico de Veracruz, con una capacidad de procesar 200 toneladas diarias, se puede obtener una producción de 2564.81 kg/hr con un rendimiento cercano al 100%, volviendo altamente competitivo la introducción de azúcar de sorgo al mercado nacional e internacional.

El sorgo dulce representa una alternativa sustentable y económica para este sector de la industria, sin embargo, la introducción de una alternativa totalmente innovadora en un sector que lleva años haciendo lo mismo, podría generar dificultad de aceptación, pero al ser una opción económica tanto para agricultores, comerciantes y consumidores, sólo se requiere de una buena estrategia mercadológica para diversificando un cultivo y producto de calidad.

BIBLIOGRAFÍA

[1] Bueno, Gloria. (2009). *Sorgo dulce: sus potencialidades productivas*. ICIDCA, 15-21.

[2] Cisneros L. MA.E., Montes, G. N. y Ortiz, Ch. F. E.. (2018). *Sorgos Dulces Para La Producción De*

Biomasa y Azúcares: Rb-Piruli, Rb Cañaveral y Rb Tehua. Inafap, 12-34.

[3] *Cámara Nacional De Las Industrias Azucarera y Alcoholera (2018)*. Consultada en octubre, de la página web <http://www.cniaa.mx/Ingenios>.

[4] CONADESUCA . (2019). *Balance Nacional Del Azúcar y Los Edulcorantes*. México: (informe 2018-2019). Secretaria de Agricultura Y Desarrollo Rural.

[5] CONADESUCA. (2019). *Histórico Del Precio De Referencia Del Azúcar Base Estándar Para El Pago De La Caña De Azúcar*. (Informe 2018-2019). SA- DER.

[6] CONADESUCA. (2019). *Reporte Final de Producción de Caña y Azúcar*. (Informe 2018-2019). Secretaria De Agricultura Y Desarrollo Rural.

[7] *Diario Oficial de la Federación*. (2018). *Programa Institucional de Desarrollo del Comité Nacional para el Desarrollo Sustentable de la Caña de Azúcar* (Informe 2015-2018). CONADESUCA.

[8] FAO. (2019). *El sorgo dulce*. Consultado en septiembre, en la página web <http://www.fao.org/3/w1808s/w1808s03.htm#TopOfPage>

[9] García, B. (1986). *Alcohol de biomasa. I. Azúcares solubles fermentables en tallos de variedades de maíz y sorgo dulce*. ATA, 571-580.

[10] Garcia, L. (2018). *Análisis del Mercado de los Edulcorantes en México*. México: CONADESUCA.

[11] Gnansounou, E. (2005). *Refining sweet sorghum to ethanol and sugar: economic trade-offs in the context of North China*. *Bioresource Technology*, 985-1002.

[12] López, E. (2018). *Planeación Agrícola Nacional 2017-2030*. (Informe 2017-2030). SAGARPA.

[13] Montes G. N.; Pecina, Q. V.; Cisneros, L. M. E.; y García, G. M. A. (2010). *Producción De Sorgo Dulce [Sorghum Bicolor (L.) Moench] En Tamaulipas*. Inifap, 14-28.

[14] Murray S. C., Rooney, W.L., Hamblin, M.T., Mitchell, S.E. and Kresovich, S. (2009). *Sweet Sorghum Genetic Diversity and Association Mapping for Brix and Height*. *The Plant Genomic.*, 48-62.

[15] Nuñez, A. (2008). *Insumos para la producción de biocombustibles*. Argentina : MCTIP.

[16] Ruben, J. (2010). *Edulcorantes Naturales*. Redalyc, 3-12.

[18] SAGARPA. (2018). *Informe De Zafra 2017-2018*. México: CONADESUCA.

[19] Silva E. S.R. da Costa, P. C. A., de Souza, V.F. y Lacerda, D. N.N. (2016). *Maturation curves of sweet sorghum genotypes*. *Ciencia e Agrotecnologia* 40, 46-56.

[20] Uribe G. S.; Rebolledo, G. R. L.; Montes, G. N.; Aguilar, U. M. G. y Gómez, R. J., G. (2017). *Tecnología de producción de sorgo dulce [Sorghum bicolor (L.) Moench] en Veracruz*. Veracruz: INIFAP.

[21] Verguera, R. (2018). *El mercado del azúcar en México*. *Revista Trimestral de Análisis de Cultura Económica*, 17-20.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt) por el apoyo otorgado en la beca de la C. Leidy Yarely López Olivares para la realización de este trabajo que forma parte de su tesis de Maestría en Ingeniería Industrial. Así también a la Maestra en Ciencias Patricia G. Hayward Jones por su apoyo en la revisión del resumen en inglés.